

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Sistema de gestão de carregamento de veículos eléctricos

Bruno Miguel Soeima Leite

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Telecomunicações

Proponente: Eng. Carlos Pinho
Orientador: Prof. Dr. José Ruela

30/07/2010

A Dissertação intitulada

“SISTEMA DE GESTÃO DE CARREGAMENTO DE VEÍCULOS ELÉCTRICOS”

foi aprovada em provas realizadas em 20/ Julho/2010

o júri



Presidente Professor Doutor Mário Jorge Moreira Leitão

Professor Associado do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professor Doutor Jorge Botelho da Costa Mamede

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Electrotécnica do Instituto Superior de Engenharia do Porto



Professor Doutor José António Ruela Simões Fernandes

Professor Associado do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Orientador).



Mestre Carlos Pinho

Investigador do INESC - PORTO (Co - Orientador).

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projecto) é da sua exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas usadas, são correctamente citados.



Autor - Bruno Miguel Soeima Leite

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

Com a reintrodução de veículos eléctricos, do tipo totalmente eléctrico e PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) e dadas as suas características actuais (limitações de autonomia e a necessidade de desenvolvimento de uma nova rede de abastecimento capaz de abastecer os veículos preferencialmente em colaboração com a rede eléctrica e aproveitando as melhores tarifas e explorando a contribuição de energias renováveis). Surge a necessidade de desenvolvimento de soluções “locais” (em casa, em parques de estacionamento, em empresas, etc.), capazes de gerir o carregamento de veículos eléctricos de acordo com um conjunto de parâmetros dinâmicos da rede bem como sujeitas a restrições/condicionantes impostas pelo administrador local.

Ainda que por razões económicas, de sustentabilidade e ambientais se pretenda tirar o máximo partido das energias renováveis para o carregamento de veículos eléctricos, o pico de produção de energia renovável nem sempre coincide com o pico de consumo. Através da gestão da rede eléctrica e do carregamento dos veículos eléctricos é possível armazenar (pelo menos parte) do excedente da produção de energias renováveis bem como o excesso de produção existente na rede eléctrica nas horas de vazio para posterior utilização no veículo ou mesmo para que essa energia seja novamente injectada na rede nas horas de pico.

O sistema proposto neste trabalho vai permitir que um sistema de carregamento de veículos eléctricos seja integrado no sistema de gestão da rede eléctrica permitindo aos operadores locais controlarem a distribuição da energia e permitir aos veículos armazenarem ou injectarem energia. Para além disso, o sistema permite que os utilizadores efectuem reservas, que caracterizem o seu perfil, entre outras.

Este trabalho foca-se no desenvolvimento de um algoritmo para gerir uma rede de postos de carregamento cujo objectivo principal é contribuir para a promoção da introdução do veículo eléctrico ao mesmo tempo que se exploram melhor as energias renováveis em detrimento de outras fontes de energia poluentes.

Este trabalho começa por analisar os objectivos gerais da dissertação, o estado de arte, o desenvolvimento feito para a elaboração de um sistema que permite escalar os pedidos tendo em atenção certas condicionantes (e.g. reservas, veículos prioritários, recursos energéticos disponíveis, hora de saída do local) e por fim os resultados obtidos através de simulações implementadas usando a linguagem Java.

O sistema desenvolvido nesta dissertação tem um carácter inovador para o desenvolvimento de sistemas de gestão de carregamentos de veículos eléctricos, necessários para a adopção em massa do veículo eléctrico, na medida em que explora a relação entre o carregamento de veículos eléctricos em locais de acesso “público” e um conjunto de

condicionantes reais tais como reservas, existência de veículos prioritários, limites de potência e de lugares de estacionamento, exploração de energias renováveis, entre outros.

Palavras-chave: veículo eléctrico, estação de carga, carregamento, comunicações wireless, sistema de gestão, aproveitamento de energias renováveis.

Abstract

With the reintroduction of electric vehicles in the market, the well known problems, range and the need for a network of recharging stations that can handle batteries charging - ideally in coordination with the electric grid, were raised. One of the possible solutions can be the development of local systems able to manage the charging of multiple electric vehicles simultaneously (located in houses, parking places, offices) and respecting a set of parameters defined by the local administrator.

For both economic and environmental reasons, the ideal solution should take advantage of clean energies for charging the maximum number of electric vehicles. On the other hand, the production of clean energy is mostly done at night. With a good control of the electric network, it is possible for electric vehicles to act like a big battery, recharging at night and providing stored energy to the network when that energy is most needed.

The objective of this project is to develop and simulate a charging system that can manage a local electric network to recharge electric vehicles. Clients of this system can create a profile, do reservations, buy and sell energy, etc.

This work comes with the deployment of a network of charging stations in Portugal, whose main objective is to support the introduction of electric vehicle and, at the same time, take advantage of clean energy production systems already installed.

This work is organized as follows. The problem characterization and the objectives of this work are presented in Chapter 2. Chapter 3 describes the state of the art. Chapter 4 the requirements and features between users and the management system. Chapter 5 explains the development made for simulating a system that can manage the available energy and give it to vehicles with attention with some priorities/rules made by administrator (e.g. priority vehicles, reservations, departure time of the vehicle from the parking slot). Finally, Chapter 6 analysis the results obtained by the simulation implemented in Java.

The work that was developed has innovative characteristics since it explores the influence that parameters such as reservations, the existence of priority vehicles, power limits, limited number of parking places, renewable energy exploration, etc., have in electric vehicles recharging processes held at “public” places.

Key words: Charging Station, electric vehicle, wireless, clean energy, management system;

Agradecimentos

Esta secção é dedicada a todas as pessoas que me ajudaram durante esta dissertação, como tal gostaria de agradecer aos meus orientadores Eng. Carlos Pinho e Prof. Dr. José Ruela, à minha família, namorada e amigos que sempre me apoiaram no decorrer desta etapa.

Índice

Capítulo 1.....	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento	2
Capítulo 2.....	3
Caracterização do problema.....	3
2.1 - Objectivos.....	3
2.2 - Análise dos requisitos	4
2.2.1 - Comunicação veículo <-> Sistema de controlo	4
2.2.2 - Sistema - Processamento dos dados.....	4
2.2.2.1 - Tipos de clientes	4
2.2.2.2 - Estado de carregamento da bateria e controlo de carga.....	4
2.2.2.3 - Identificar e processar o tipo/modo de carregamento pretendido pelo utilizador	4
2.2.2.4 - Identificar e processar os pedidos consoante a quantidade/hora de saída	5
2.2.3 - Modo de abastecimento eléctrico do veículo.....	5
2.2.4 - Modo de distribuição da energia	5
2.2.5 - Diagrama com os diversos blocos do sistema de gestão de carregamento	6
Capítulo 3.....	9
Estado da Arte.....	9
3.1 - Veículos Eléctricos.....	9
3.1.1 - Visão geral dos veículos eléctricos - constituição interna.....	9
3.1.2 - Os desafios actuais dos carros eléctricos - autonomia.....	11
3.1.3 - Os desafios actuais dos carros eléctricos - materiais raros	11
3.2 - Soluções e características do carregamento de veículos eléctricos	12
3.2.1 - Heterogeneidade de baterias e características	12
3.2.1.1 - Tipo de baterias:	12
3.2.2 - Modo de abastecimento eléctrico do veículo.....	13
3.2.2.1 - Tipo e Tempo de carregamento:	13
3.2.2.2 - Carregamento sem fios	14
3.2.3 - Padrão de consumo dos utilizadores e preços	15
3.2.4 - Estações de carregamento de veículos eléctricos	16
3.2.4.1 - Coulomb Technologies.....	16
3.2.4.2 - MOBIE Mobilidade Eléctrica	16
3.2.5 - V2G (entre o veículo e a infra-estrutura)	17
3.2.6 - “Supressão” da limitação da autonomia.....	18
3.2.7 - Medição e controlo da carga.....	18
3.2.7.1 - Formas de medir o estado de carga	19
3.3 - Comunicações	19
3.3.1.1 - Internet móvel 3G/UMTS/3.5G/4G.....	19
3.3.1.2 - Wireless Lan - IEEE 802.11(a/b/g/n/p).....	20
3.3.1.3 - HomePlug	21
3.3.1.4 - Autonet Mobile.....	21

3.3.1.5 - LIWAS Traffic Warning System	21
3.3.1.6 - MANET	22
3.3.1.7 - Redes infra-estruturada	23
3.3.1.8 - RFID	23
3.4 - Conclusão	23
Capítulo 4	25
Análise do sistema.....	25
4.1 - Análise de requisitos funcionais	25
4.1.1 - Utilizador	25
4.1.2 - Interface Utilizador/Sistema	25
4.1.3 - Sistema	26
4.2 - Estratégia e especificação preliminar.....	26
4.2.1 - Sistema - Processamento de Dados.....	27
4.2.1.1 - Algoritmo de gestão	27
4.2.1.2 - Identificação da ficha eléctrica/tomada que está associada a cada veículo:	28
4.2.2 - Comunicação: Veículo <-> Sistema	28
4.2.3 - Energia: Veículo <-> Sistema	29
4.2.4 - Sistema de Processamento de dados.....	30
4.2.5 - Página Web	30
4.3 - Modelos de negócio.....	31
4.4 - Conclusão	31
Capítulo 5	33
Desenvolvimento	33
5.1 - Análise dos módulos implementados	33
5.2 - Funcionalidades disponíveis para o utilizador	34
5.2.1 - Tipo de cliente	34
5.2.2 - Modo de funcionamento	34
5.2.3 - Tipo de carregamento	35
5.2.4 - Outros parâmetros	35
5.2.4.1 - Quantidade de energia	35
5.2.4.2 - Hora de saída	35
5.2.4.3 - Preço	35
5.3 - Escalonamento dos dados	36
5.3.1 - Vista geral da arquitectura de escalonamento dos pedidos	36
5.3.2 - Filas de espera	37
5.3.2.1 - Fila de espera - Normal	37
5.3.2.2 - Fila de espera - Premium	37
5.3.2.3 - Fila de espera - Reserva.....	37
5.3.2.4 - Fila de espera - Outros	37
5.3.3 - Escalonador	38
5.3.3.1 - Tipo de resposta aos pedidos	38
5.3.3.2 - Número de lugares livres.....	38
5.3.4 - Turnos	38
5.3.4.1 - Marcação de Reserva	39
5.3.4.2 - Escalonamento das Reservas	41
5.3.4.3 - Escalonamento de Premium e Normal	43
5.4 - Processamento dos dados	45
5.4.1 - Cálculo do preço	45
5.4.1.1 - Preço inicial	45
5.4.1.2 - Preço Final.....	47
5.4.2 - Distribuição da Potência	49
5.4.2.1 - Potência Total	49
5.4.2.2 - Potência Utilizada.....	49
5.4.2.3 - Potência Disponível	49
5.4.3 - Módulo de atribuição de carregamentos	49
5.4.3.1 - Módulo de marcação de reservas	57

5.4.4 - Fila de pedidos pendentes	57
5.5 - Situações críticas	57
5.5.1 - Quebra de energia	57
5.6 - Venda de Energia	58
5.7 - Compra e venda de energia	61
5.7.1 - Preço de compra de energia por parte do sistema	63
5.8 - Políticas implementadas.....	63
5.9 - Simulação	64
5.9.1 - Simulação por eventos.....	64
5.9.2 - Plataformas de simulação.....	64
5.9.2.1 - NS2/NS3	64
5.9.2.2 - JAVA	65
5.9.2.3 - Eclipse	65
5.10 - Conclusão	65
Capítulo 6.....	67
Testes e resultados	67
6.1 - Cenários de Teste.....	67
6.1.1 - Testes aos módulos implementados	67
6.1.1.1 - Ordenação da fila de espera de veículos “Normais”	67
6.1.1.2 - Reserva	67
6.1.1.3 - Premium	67
6.1.1.4 - Potência do operador contratado e das energias renováveis.....	68
6.1.1.5 - Escalonamento do algoritmo	68
6.1.2 - Testes gerais com pedidos controlados.....	68
6.1.2.1 - Situação sem sobrecarga	68
6.1.2.2 - Situação com sobrecarga em horas de ponta.....	68
6.1.2.3 - Situação com quebra de energia	68
6.1.3 - Testes gerais com pedidos aleatórios	69
6.1.3.1 - Testes com parâmetros aleatórios	70
6.1.3.2 - Teste aleatório com quebra de energia	70
6.1.3.3 - Teste aleatório com sobrecarga	70
6.1.3.4 - Teste aleatório com sobrecarga de pedidos do tipo Premium e Reserva	70
6.2 - Resultados e testes	71
6.2.1 - Testes aos módulos implementados	71
6.2.1.1 - Ordenação da fila de espera de veículos “Normais”	71
6.2.1.2 - Reserva	74
6.2.1.3 - Premium - Teste a política de prioridade	76
6.2.1.4 - Potência do operador contratado e das energias renováveis.....	78
6.2.1.5 - Escalonamento do algoritmo	81
6.2.1.6 - Conclusão	84
6.2.2 - Testes gerais com pedidos controlados.....	84
6.2.2.1 - Situação sem sobrecarga	84
6.2.2.2 - Situação com sobrecarga em horas de ponta.....	86
6.2.2.3 - Situação com quebra de energia	88
6.2.2.4 - Conclusão	93
6.2.3 - Testes com parâmetros aleatórios.....	94
6.2.3.1 - Teste com parâmetros aleatórios.....	94
6.2.3.2 - Teste aleatório com quebra de energia	98
6.2.3.3 - Teste aleatório com sobrecarga	102
6.2.3.4 - Teste aleatório com sobrecarga dos Premium e Reserva	106
6.2.3.5 - Conclusão	114
Capítulo 7.....	115
Conclusão.....	115
Referências.....	117
Anexos.....	121

Lista de figuras

Figura 2-1 - Diagrama das funcionalidades do sistema físico.....	6
Figura 2-2 - Interligação entre o veículo e o sistema de gestão	7
Figura 3-1 - Comparação entre um motor eléctrico e um de combustão interna [6]	10
Figura 3-2 - Exemplo do carregamento sem fios em veículos eléctricos	14
Figura 3-3 - Exemplo de variação do preço da energia ao longo de um dia	15
Figura 3-4 - V2G (entre o veículo e a infra-estrutura).....	18
Figura 3-5 - Aplicação smart grid / smart energy [35]	21
Figura 3-6 - Exemplo de uma rede AD HOC.....	22
Figura 3-7 - Exemplo de uma rede infra-estruturada	23
Figura 4-1 - Esquema da comunicação entre o veículo e o Sistema.....	29
Figura 4-2 - Diagrama de uma possível solução para o processamento de dados.....	30
Figura 5-1- Diagrama das funcionalidades do sistema físico	33
Figura 5-2 - Visão geral da arquitectura do sistema de escalonamento de pedidos	36
Figura 5-3 - vectores Horas/Potência disponível	39
Figura 5-4 - Módulo de marcação de reservas	40
Figura 5-5 - Módulo das reservas	42
Figura 5-6 - Módulo de carregamento de um pedido Premium/Normal	44
Figura 5-7 - Cálculo do preço inicial.....	46
Figura 5-8 - Cálculo do preço final.....	48
Figura 5-9 - atribuição de turnos - sem adiantar outros carregamentos	50
Figura 5-10 - Atribuição de turnos - adiamento do carregamento de um veículo para servir outro do mesmo tipo	52
Figura 5-11 - Atribuição de turnos - adiamento de carregamentos lentos para servir um rápido	54
Figura 5-12 - Atribuição de turnos - suspensão de carregamentos Normais para servir Prioritários	56
Figura 5-13 - Quebra de energia.....	58
Figura 5-14 - Módulo venda de energia por parte de um veículo.....	60
Figura 5-15 - Módulo de compra e venda	62
Figura 6-1 - Variação do preço por kWh ao longo de um dia	72
Figura 6-2 - Preço mínimo por kWh para cada veículo	72
Figura 6-3 - Resultado do cálculo do índice de lucro de cada pedido	73
Figura 6-4 - Cálculo do índice de lucro.....	74
Figura 6-5 - Preço mínimo por kWh para cada veículo	74
Figura 6-6 - Potência utilizada/disponível Reserva	76

Figura 6-7 - Potência utilizada/disponível.....	77
Figura 6-8 - Potência disponível/consumida	78
Figura 6-9 - Variação dos preços ao longo de um dia	79
Figura 6-10 - Distribuição da potência	79
Figura 6-11 - Variação dos preços ao longo de um dia	80
Figura 6-12 - distribuição de potência	80
Figura 6-13 - potência consumida e disponível para os veículos Premium	81
Figura 6-14 - potência consumida/disponível Premium.....	82
Figura 6-15 - potência consumida/disponível - Premium	83
Figura 6-16 - potência consumida/disponível - Premium	83
Figura 6-17 - Potência pretendida pelos veículos "Normais"	85
Figura 6-18 - Resultado da simulação potência consumida e total	86
Figura 6-19 - Potência pretendida	87
Figura 6-20 - Resultado da simulação	88
Figura 6-21 - Potência pretendida pelos veículos	89
Figura 6-22 - Resultado da simulação	89
Figura 6-23 - Potência Normal, Premium e Reserva	90
Figura 6-24 - Resultado da simulação	91
Figura 6-25 - Potência Normal - Premium - Reserva.....	91
Figura 6-26 - Resultado da simulação	92
Figura 6-27 - Potência consumida.....	93
Figura 6-28 - Resultado da simulação - potência geral.....	96
Figura 6-29 - Resultado da simulação com 150 lugares	96
Figura 6-30 - Resultado da simulação Premium	97
Figura 6-31 - Resultado da simulação - Normal.....	97
Figura 6-32 - Resultado da simulação - Reserva	98
Figura 6-33 - Resultado da simulação com quebra/sem quebra de energia.....	99
Figura 6-34 - Potência Normal com quebra e sem quebra.....	100
Figura 6-35 - Potência consumida com/sem quebra de energias - veículos Premium	100
Figura 6-36 - Potência consumida - veículos Premium	101
Figura 6-37 - Potência consumida com/sem quebra de energias - veículos Reserva	101
Figura 6-38 - Resultado da simulação	104
Figura 6-39 - Número de veículos em carregamento	104
Figura 6-40 - resultado da simulação para veículos Normais.....	105
Figura 6-41 - resultado da simulação Premium.....	105
Figura 6-42 - Resultado da simulação - Reserva	106
Figura 6-43 - Resultado da simulação	108
Figura 6-44 - Resultado da simulação - veículos Normais.....	108
Figura 6-45 - Resultado da simulação - veículos Premium.....	109
Figura 6-46 - Resultado da simulação - veículos Reserva	110
Figura 6-47 - Potência consumida - agendada	111
Figura 6-48 - Potência consumida/agendada	112
Figura 6-49 Potência consumida método 1/2	113

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Comparação entre um veículo eléctrico e um de combustão interna	11
Tabela 3.2 - Características das baterias	13
Tabela 6.1 - Taxa de chegada de veículos.....	69
Tabela 6.2 - Eventos de entrada da simulação	71
Tabela 6.3 - Eventos de entrada da simulação	73
Tabela 6.4 - Eventos de entrada na simulação	77
Tabela 6.5 - Eventos de entrada na simulação	81
Tabela 6.6 Eventos de entrada na simulação	82
Tabela 6.7 Entrada de eventos na simulação	84
Tabela 6.8 - Eventos de entrada na simulação	87
Tabela 6.9 - Taxa de chegada de veículos.....	94
Tabela 6.10 - Resultados obtidos após simulação	94
Tabela 6.11 - Número de pedidos rejeitados/aceites	95
Tabela 6.12 - Resultado da simulação.....	99
Tabela 6.13 - Taxa de chegada de veículos	102
Tabela 6.14 - Resultado da simulação.....	102
Tabela 6.15 - Número de pedidos rejeitados/aceites	103
Tabela 6.16 - Resultado da simulação.....	106
Tabela 6.17 - Resultado das pré marcações de reservas.....	107
Tabela 6.18 - Número de pedidos rejeitados/aceites	107

Abreviaturas e símbolos

Lista de abreviaturas:

3G	3ª geração
4G	4ª geração
AC	Alternating Current (corrente alternada)
AES	Advanced Encryption Standard
AP	Access Point
DC	Direct Current (corrente contínua)
EV	Electric Vehicle
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HAN	Home Area Network
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
InVANET	Intelligent Vehicular Ad-hoc Network
LAN	Local Area Network
MANET	Mobile Ad-hoc Network
MIMO	Multiple-input multiple-output
PEV	Plug-in Electric Vehicle
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
QoS	Quality of Service
RFID	Radio Frequency Identification
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V2G	Vehicle to Grid
VANET	Vehicular Ad Hoc Network
ZEV	Zero emission vehicle

Capítulo 1

Introdução

O aumento do preço do petróleo aliado ao impacto ambiental dos carros tradicionais tem acelerado ao longo dos últimos anos o desenvolvimento de veículos eléctricos não poluentes. Com este intuito, países como Portugal, que importam todo o petróleo consumido, estabeleceram parcerias, nomeadamente com a Renault - Nissan, de modo a incorporarem uma rede nacional de carregamento de veículos eléctricos [1].

Dois factores que têm vindo a limitar a massificação dos veículos eléctricos são a sua reduzida autonomia e o preço, quando comparados com a dos veículos de combustão interna. Como forma de compensar a “reduzida” autonomia é necessário continuar a progredir em dois níveis: ao nível do veículo é necessário evoluir a tecnologia das baterias actuais bem como os sistemas de gestão energéticos internos, ao passo que ao nível externo ao veículo é necessário ampliar as redes nacionais de postos de carregamentos, bem como técnicas de gestão que permitam aproveitar a rede eléctrica. As novas tecnologias, em particular as tecnologias de comunicação, aparecem como suporte às soluções que podem ser desenvolvidas para resolver estes problemas na medida em que permitem uma optimização da gestão local (e mesmo nacional) bem como da gestão da produção e do consumo. Em relação ao preço do veículo eléctrico o problema reside no facto deste não ser ainda produzido em massa, como é o caso do veículo de combustão interna. Para reduzir o custo, e em particular no caso Português, o Estado fornece incentivos a quem comprar um veículo eléctrico [2]. Estas medidas levam ao aumento das vendas e por consequência da produção dos mesmos, conduzindo a economias de escala, reduções no custo de fabrico e um menor preço para o utilizador final.

O trabalho a realizar nesta dissertação tem como objectivo desenvolver um algoritmo de gestão de carregamentos de veículos eléctricos a nível local (e.g., um parque de estacionamento privado/semi-privado mas de acesso público) simulando o seu funcionamento através do envio e recepção de mensagens de pedido de carregamento bem como geração de eventos (e.g., um veículo estava a carregar e foi desligado - e.g., devido a uma emergência). O objectivo deste trabalho é contribuir para o aumento da adopção dos veículos eléctricos, permitindo atenuar o problema da autonomia suportando o maior número de carregamentos possível. Este suporte de maior número de carregamentos possíveis vem ao encontro de objectivos económicos que possam existir do lado do gestor do local de carregamentos e está

sujeito a diversas condicionantes directamente relacionadas com os veículos e impostas pelo administrador local (e.g., um limite de carregamento por veículo, definição de tipos de veículos e respectivas prioridades, bem como interesse de optimização de exploração de recursos renováveis locais ou mesmo condicionantes externas como é o caso da tarifa da energia vinda da rede eléctrica, etc.).

1.1 - Enquadramento

A actual conjuntura política e económica tem dado origem a um conjunto de iniciativas de vários governos à escala mundial com vista a promover o desenvolvimento e adopção dos veículos eléctricos. No âmbito dessas iniciativas têm sido discutidos essencialmente dois modelos de negócio (compra ou aluguer da bateria) [3-4] , que têm um impacto significativo no dia-a-dia dos utilizadores.

Quem compra a bateria não a poderá trocar por outra carregada nos locais próprios/licenciados para tal, sendo obrigado a carregá-la em sua casa, em locais onde esteja autorizado a fazê-lo (e.g. no local de trabalho) e nos locais próprios com licença para prestar o serviço de recarregamento.

Quem aluga a bateria, para além das possibilidades disponíveis para quem compra, pode ainda optar pela troca da bateria descarregada por outra com carga nos locais próprios, deixando assim a gestão da bateria descarregada entregue às entidades competentes.

Apoiado por este contexto actual, surge esta dissertação em que se pretende desenvolver um sistema de simulação de carregamento de veículos eléctricos para parques de estacionamento como por exemplo em campus universitários, grandes superfícies, entre outros. A pretensão é realizar um sistema autónomo, tendo em conta os veículos eléctricos da nova geração, que incorporam inovações tecnológicas tal como as capacidades de comunicações *wireless* de forma a poderem comunicar directa/indirectamente com a entidade gestora dos carregamentos.

Capítulo 2

Caracterização do problema

Este capítulo apresenta os objectivos da dissertação e analisa os requisitos de desenvolvimento de um sistema para gestão de carregamentos de veículos eléctricos. Estes requisitos têm em consideração a adopção de sistemas de comunicação de forma a suportarem um conjunto de novas funcionalidades para o futuro.

2.1 - Objectivos

O objectivo principal deste trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de simulação para gestão de carregamento de baterias de veículos eléctricos em locais com múltiplos utilizadores e com possibilidade de aproveitamento de energias renováveis (e.g. um campus universitário, um centro comercial, um hipermercado, etc.). O sistema, além de outros requisitos a identificar na fase de desenvolvimento, deverá ter em conta:

- A capacidade em termos de número máximo de utilizadores (e.g., número de lugares disponíveis) e tempo de carga das baterias (que depende da capacidade e forma de carregamento escolhida - rápida ou normal);
- Reservas e prioridades (e.g., veículos prioritários - ambulâncias, polícia, etc. e/ ou veículos da administração);
- Identificação do utilizador/veículo;
- O custo da energia eléctrica consumida da rede e a optimização do aproveitamento de energias renováveis (caso existam);
- Controlar a potência disponível proveniente das energias renováveis e do operador contratado;
- Adaptação dinâmica a eventos (e.g., falhas de energia, desligar veículo por parte do utilizador);
- Guardar um histórico dos carregamentos efectuados por cada utilizador (e.g. o utilizador U carregou no dia D, Q quantidades de energia ao preço P);

O sistema deverá ser flexível, de forma a permitir a configuração fácil de parâmetros e eventuais alterações do algoritmo de gestão (por exemplo, devido à inclusão de novos parâmetros ou alteração de políticas).

2.2 - Análise dos requisitos

Para auxiliar na caracterização do problema pretende-se analisar as características que o sistema deverá ter para responder às necessidades e expectativas propostas. As tecnologias referidas neste capítulo serão descritas com mais pormenor no estado da arte.

2.2.1 - Comunicação veículo <-> Sistema de controlo

Os veículos eléctricos, para se autenticarem e invocarem serviços do sistema, necessitam de comunicar através de uma rede com ou sem fios. No caso de uma rede sem fios poderão ser usadas diversas tecnologias, em particular a tecnologia Wireless IEEE 802.11 (tipicamente sem custos) ou UMTS. No caso de uma rede cablada o HomePlug surge como uma possível opção. Outro aspecto importante no sistema de comunicações é a arquitectura. O modo de comunicação pode ser Ad-Hoc ou infra-estruturada (no caso de ser usada a norma Wireless 802.11).

2.2.2 - Sistema - Processamento dos dados

O sistema recebe e processa os dados dos clientes, tendo em consideração os recursos disponíveis (e.g. potência disponível, número de lugares livres, tempo de carga das baterias que depende também do modo de carregamento - rápido ou normal), reservas, prioridades (e.g. veículos prioritários), hora estimada de saída do veículo, o preço que o cliente está disposto a pagar por kWh, como também o custo da energia eléctrica consumida da rede e a possível optimização de aproveitamento de energias renováveis locais.

2.2.2.1 - Tipos de clientes

Num sistema de gestão de carregamento de veículos eléctricos podem existir diversos tipos de clientes, dependendo não só das políticas que se pretendem implementar como também do género de parque de carregamento (e.g. centros comerciais, empresas, etc.). Desta forma, podem haver clientes com mais regalias (e.g. cargos de chefia) que tenham prioridades na obtenção dos recursos energéticos.

Os clientes/utilizadores, além de poderem carregar o seu veículo, também podem consultar informação relevante associadas ao serviço prestado, tal como facturas, preço actual da energia, disponibilidade do parque e efectuar ainda marcações de reservas.

Assim, são considerados três tipos de clientes: clientes Normais (sem prioridade), clientes Premium (com algum tipo de prioridade, quer sejam veículos prioritários ou da administração) e veículos com garantias “absolutas” (veículos que efectuem reservas atempadamente e que pagam mais para terem garantias de prestação do serviço).

2.2.2.2 - Estado de carregamento da bateria e controlo de carga

O sistema tem de saber a qualquer momento o estado de carregamento das baterias e a potência que está a ser fornecida aos diversos veículos activos no sistema.

2.2.2.3 - Identificar e processar o tipo/modo de carregamento pretendido pelo utilizador

Um dos aspectos fundamentais de operação do sistema é identificar o tipo/modo de carregamento pretendido pelo utilizador, que poderá ser rápido ou normal.

2.2.2.4 - Identificar e processar os pedidos consoante a quantidade/hora de saída

O sistema através de escalonamento dos pedidos deverá distribuir a energia consoante a quantidade pretendida pelos utilizadores como também pela hora de saída do local.

2.2.3 - Modo de abastecimento eléctrico do veículo

Adjacente aos lugares de estacionamento, é necessário um módulo (ou no mínimo uma ficha eléctrica) que forneça energia aos veículos eléctricos. O módulo também pode ser usado para receber energia que seja disponibilizada pelo veículo eléctrico e injectada na rede para satisfação de necessidades pontuais (e.g. picos de consumo).

2.2.4 - Modo de distribuição da energia

Para fornecer a energia eléctrica necessária ao sistema/veículos, é necessária a existência de um módulo de interface entre a rede eléctrica e os componentes de carregamento dos veículos eléctricos. Este módulo de interface deverá permitir fazer a gestão da distribuição da energia consoante as necessidades dos utilizadores.

2.2.5 - Diagrama com os diversos blocos do sistema de gestão de carregamento

No próximo diagrama pode-se observar um modelo do sistema de gestão que se pretende implementar.

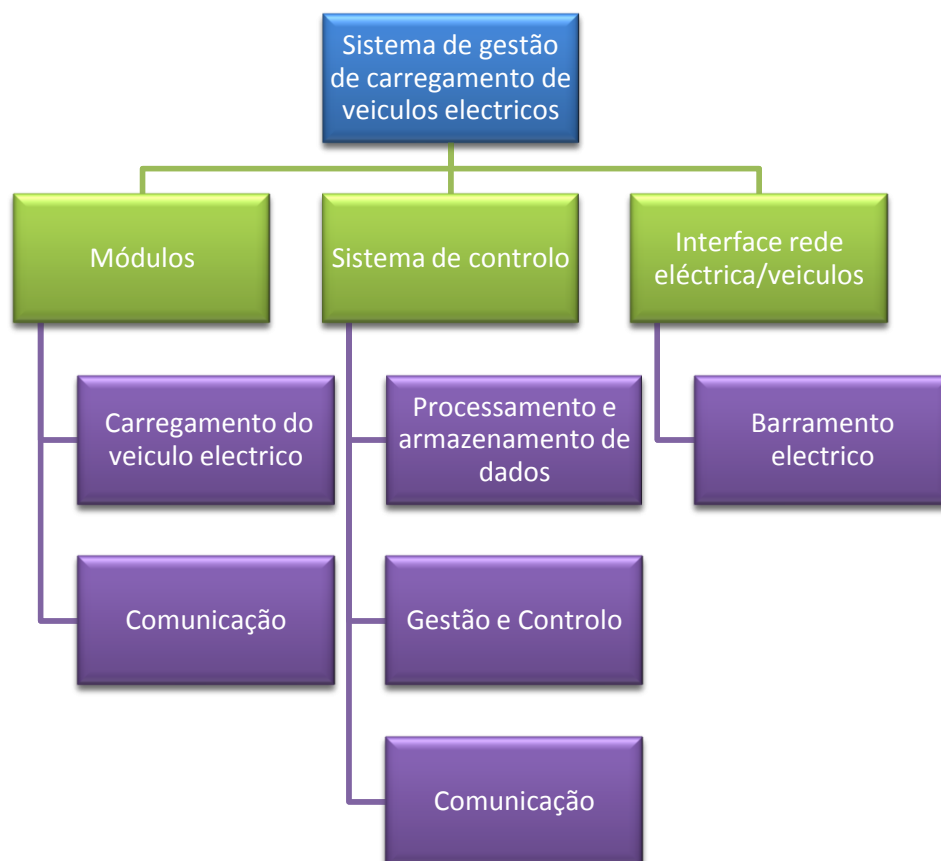


Figura 2-1 - Diagrama das funcionalidades do sistema físico

O sistema de controlo deverá contemplar o processamento e armazenamento de dados, gestão e controlo da rede eléctrica (e.g. escalonamento dos recursos energéticos) bem como a gestão dos diversos serviços prestados aos utilizadores e aos veículos (e.g. marcação de reservas, diferentes tipos de carregamento lento/rápido). Este sistema de controlo deverá ter acesso a uma via de comunicação com os intervenientes no sistema (e.g. veículos, utilizadores com acesso através de um computador ou telemóvel). O sistema também tem de se adaptar a situações inesperadas como por exemplo falhas de energia e a situações de sobrecarga a nível energético ou de lotação de lugares.

Os módulos de carregamento dos veículos eléctricos (ou no mínimo uma ficha eléctrica) deverão estar dispersos pelo parque de estacionamento onde se pretende implementar o sistema. Caso seja necessário podem ser ainda implementados/integrados módulos de comunicação que sirvam de ponto de acesso para os utilizadores/veículos.

A interface de rede eléctrica deverá disponibilizar energia aos módulos de carregamento (e.g. através de um barramento eléctrico).

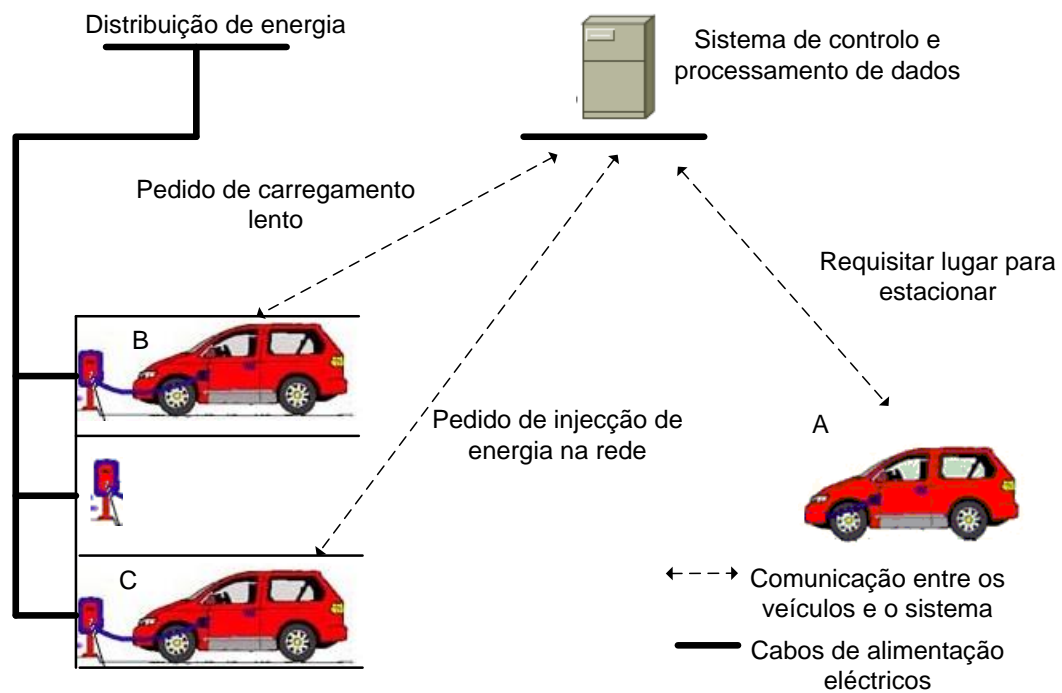


Figura 2-2 - Interligação entre o veículo e o sistema de gestão

Neste esboço pode-se observar a ligação entre os vários blocos do sistema. Pode-se verificar um veículo (A) a chegar ao parque e a requisitar um lugar livre para estacionar, bem como alguns pedidos de carregamento de veículos já estacionados (B e C). O módulo de carregamento está ligado a um barramento eléctrico que, faz a interface com a rede eléctrica proveniente de um distribuidor de energia ou de fontes de energia renováveis instaladas no local.

Capítulo 3

Estado da Arte

Neste capítulo será apresentado o actual estado da arte, tendo em conta a caracterização do problema feita no capítulo anterior. No início serão identificados alguns desafios dos veículos eléctricos (e.g., autonomia, dependência de materiais raros, etc.) e a sua constituição interna de forma a se obter uma perspectiva dos veículos eléctricos e dos problemas que enfrentam. Seguidamente será levantado o estudo a nível de soluções e características para o carregamento das baterias dos veículos eléctricos e por fim as tecnologias e soluções existentes a nível de comunicações que podem ser implementadas num sistema de gestão de carregamentos de veículos eléctricos.

3.1 - Veículos Eléctricos

Nesta secção será apresentado uma visão geral dos veículos eléctricos bem como os principais desafios que se colocam aos mesmos, em particular aqueles que se relacionam com a autonomia dos veículos.

3.1.1 - Visão geral dos veículos eléctricos - constituição interna

O veículo eléctrico alimentado a baterias difere de um veículo tradicional de combustão interna devido ao uso de energia eléctrica em vez de gasóleo/gasolina para alimentar o motor.

Na arquitectura do veículo eléctrico destacam-se quatro pontos essenciais; o motor eléctrico, sistema de controlo, baterias e o sistema de travagem:

- Motor: Os motores eléctricos podem-se dividir essencialmente em dois tipos, motores de corrente contínua (DC) e motores de corrente alternada (AC). Os motores AC podem se dividir em dois tipos: motores de uma fase e de três fases. Por sua vez existem três tipos de motores DC: com escovas, sem escovas e de passo [5];
- O sistema de controlo é o responsável pela gestão de energia entre a bateria e o motor, sendo que o sistema disponibiliza a energia mediante as necessidades do motor. O sistema de controlo também é responsável pelo funcionamento do motor durante a travagem regenerativa, garantindo que o motor passa a funcionar como um gerador. Actualmente são usados controladores electrónicos;

- Bateria: Componente onde é armazenada a energia eléctrica e disponibilizada ao veículo consoante as suas necessidades;
- Travagem regenerativa: Durante a travagem, o motor funciona como um gerador, carregando desta maneira a bateria, o que permite aumentar a autonomia.

Para carregar um veículo eléctrico é necessário ligá-lo à corrente eléctrica; o tempo de carga varia, dependendo do tipo de carga (rápida/lenta) e da capacidade e tensão/corrente do carregador.

Estudos provam que o motor eléctrico consegue obter uma maior eficiência de energia em relação ao motor tradicional, o que se deve à inexistência de desperdício de energia na transmissão e em ponto morto no veículo eléctrico [6].

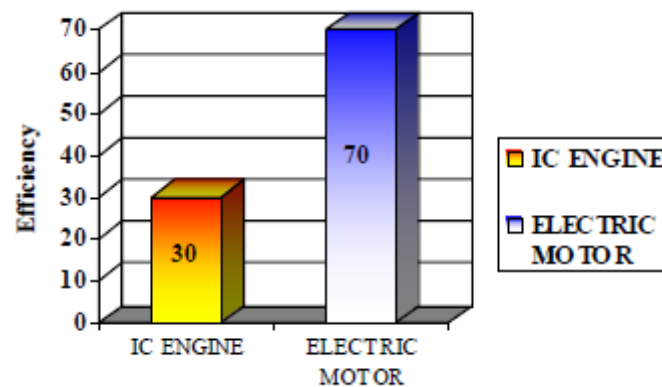


Figura 3-1 - Comparação entre um motor eléctrico e um de combustão interna [6]

Os motores de combustão interna têm um problema relativamente à temperatura de funcionamento porque atingem temperaturas elevadas, o que conduz a perdas térmicas e requer mecanismos complexos de arrefecimento. Isto, aliado ao desenho do motor, bem como a própria caixa de velocidade, tornam o motor de combustão interna pouco eficiente. Por sua vez, como se pode observar na figura 3.1, o motor eléctrico consegue ter um aproveitamento de energia bem mais eficiente [6].

Tabela 3.1 - Comparação entre um veículo eléctrico e um de combustão interna

Feature	Electric vehicles	I.C. Engine vehicles
Prime mover	Electric motor	I.C. engine
Powered by	Charged battery, ultra capacitors	Diesel, Petrol
Self weight	High due to battery bank	Low as compared to EV
Power Transmission	Both mechanical as well as electrical	Mechanical
Braking system	Regenerative braking	Friction braking
Efficiency	High Low	
Eco friendly	Yes No	
Initial cost	High Average	
Running cost	Low Very	high

Podemos observar na tabela 3.1 algumas das diferenças entre os dois tipos de veículos [6] que serve de sustentação para o que foi descrito no início deste capítulo.

3.1.2 - Os desafios actuais dos carros eléctricos - autonomia

A autonomia dos veículos eléctricos é um dos principais factores que têm vindo a dificultar a massificação dos mesmos. Os veículos eléctricos actualmente no mercado têm uma autonomia a rondar os 80 km, o que é baixo em comparação com os carros tradicionais (600~1000 km) [7]. Apesar da relativamente baixa autonomia, estudos revelam que um Português faz em média 27 km diários; logo, é possível a um utilizador normal carregar o carro durante a noite e utilizá-lo durante o dia sem problemas de autonomia [7].

Com o desenvolvimento de novas tecnologias de baterias, a autonomia dos veículos eléctricos tende a aumentar, permitindo aos utilizadores fazerem viagens cada vez mais longas. A título de exemplo pode-se referir o caso do fabricante Tesla Motors que possui um veículo totalmente eléctrico equipado com baterias de *lithium-ion*, e que consegue fazer mais de 500 km - valor esse que está próximo das autonomias de um carro tradicional [8].

3.1.3 - Os desafios actuais dos carros eléctricos - materiais raros

Um dos principais materiais que têm visto aumentar a sua procura devido à produção das baterias é o *Lithium*. Um estudo de Roland Berger mostra que o preço de *Li-carbonato* aumentou quatro vezes entre 2002 e 2008. Em termos de reservas globais, a Bolívia possui 41%, o Chile 38% e a China 17%[9]. Relativamente às baterias de *Lithium*, 58% são produzidas no Japão, 22% na China, 18% na Coreia. Uma das motivações dos veículos eléctricos é acabar com a dependência dos países produtores de petróleo; estes dados lançam o problema de a implementação das baterias *Lithium* nos veículos vir a criar outra dependência, neste caso com os países que têm reservas de *Lithium*.

Esta problemática também é verdade relativamente a outros metais raros que se pensam vir a utilizar nas baterias de futuro tais como o neodímio, lantânio, térbio e cério [10].

3.2 - Soluções e características do carregamento de veículos eléctricos

Esta secção faz o levantamento do estado da arte. São abordados em particular o tipo de baterias existentes, modos de carregamento (lento ou rápido), carregamento sem fios, funcionalidades das estações de carregamento (e.g., MOBIE) e o conceito V2G que permite utilizar os veículos como um *buffer* armazenando energia nas horas de vazio e injectando-a nas horas de ponta. Pretende-se, com este levantamento do estado da arte, identificar as tecnologias/técnicas existentes no mercado ao nível de baterias e do respectivo carregamento.

3.2.1 - Heterogeneidade de baterias e características

Idealmente, as baterias (em particular dos veículos eléctricos mas não só) devem ter as seguintes características:

- Boa capacidade de energia, que permita obter o máximo de autonomia;
- Menor peso possível para reduzir o peso do carro;
- Menor tempo possível para o total carregamento da bateria;
- Permitir fazer o maior número de ciclos de carga/descarga durante o tempo de vida do veículo;
- Elevada segurança;
- Baixo Custo;
- Condições de temperatura em que consegue trabalhar: frio (-20°) / calor (60°) [11].

Em resumo estas são as características que uma bateria deve possuir de forma a aumentar a autonomia, reduzir o custo e a necessidade de manutenção do veículo eléctrico.

3.2.1.1 - Tipo de baterias:

Existem diversos tipos de baterias, que vão ser enumeradas de seguida [12]:

Lead-Acid: Baterias com um custo baixo mas com fraca autonomia (menos de 160 km), com um ciclo de vida de três anos.

Nickel-Metal Hydride: Bateria que consegue obter uma grande autonomia e um grande ciclo de vida; actualmente é uma tecnologia muito mais cara do que, por exemplo, a bateria *Lead-Acid*.

Nickel-Cadmium: as baterias actualmente no mercado conseguem uma autonomia até 160 km, recarregamento mais rápido que as baterias *lead-acid*, com grande ciclo de vida, mas é mais cara que a *Lead-Acid*.

Lithium-Ion: Bateria que permite uma grande autonomia e ciclo de vida, mas é actualmente cara.

Zinc-Air: Actualmente em desenvolvimento, consegue um desempenho superior quando comparada com as actuais tecnologias.

Flywheels: Actualmente em desenvolvimento, consegue armazenar uma grande quantidade de energia em sistemas leves e pequenos em comparação com as baterias tradicionais. Flywheel é uma bateria Electromecânica que permite armazenar energia mecânica, sendo necessário um simples motor eléctrico ou gerador para a converter para energia eléctrica e vice-versa [13]

Tabela 3.2 - Características das baterias

Características	Lead-Acid	Ni-cadmium	Li-ion	Ni-MH
Tensão (V)	2.1	1.2	3.6	1.2
Densidade de energia (MJ/kg)	0.11-0.14	0.14-0.22	0.58	0.11-0.29
Densidade de energia (Wh/kg)	30-40	40-60	160	30-80
Densidade de energia (Wh/L)	60-75	50-150	270	140-300
Potência (W/kg)	180	150	1800	250-1000
Eficiência de carga/descarga	70%-92%	70%-90%	99.9%	66%
Taxa de auto descarga %/mês	3%-4%	20%	5%-10%	20%
Número de ciclos	500-800	1500	1200	1000
Duração em anos	5-8 (se usada num veículo eléctrico)	-	2-3	-

Pode-se verificar na tabela 3.2 [14] algumas diferenças dos diversos tipos de baterias existentes no mercado; de realçar a bateria de *Lithium-Ion* que obtém uma eficiência de carga/descarga perto dos 100% [8].

3.2.2 - Modo de abastecimento eléctrico do veículo

Nesta secção serão apresentados os diversos tipos e modos existentes para carregar as baterias dos veículos eléctricos.

3.2.2.1 - Tipo e Tempo de carregamento:

O carregamento convencional dos veículos eléctricos é feito com recurso a um cabo, podendo distinguir-se 2 tipos de carga, lenta e rápida [15]:

Carga lenta: Através da tensão de 220 V disponível em casa é possível carregar totalmente as baterias de um veículo eléctrico entre seis a oito horas. Este método é indicado para os utilizadores carregarem o seu veículo durante a noite, aproveitando assim a energia proveniente de fontes de energia renováveis (e.g., energia eólica) e o acesso a tarifas mais económicas.

Carga rápida: Utilizando tensões de 400 V consegue-se carregar uma bateria de 20 kWh em vinte a trinta minutos, dependendo da corrente disponível. Este método é indicado para postos de carregamentos localizados no emprego, centros comerciais, parques de estacionamento e postos de carregamento rápido específicos para o efeito.

Troca de baterias: Trocar uma bateria vazia por uma bateria cheia demora aproximadamente 3 minutos, o mesmo tempo que se demora a abastecer o carro numa estação de gasolina.

O método de troca de baterias é mais indicado para utilizadores que aluguem a bateria e possam trocar a mesma por uma cheia, sendo contabilizado para efeito de facturação a diferença de energia entre elas.

No projecto que se pretende implementar não serão consideradas as trocas de baterias mas deverão admitir-se os dois tipos de carga, lenta e rápida. A possibilidade de carga lenta deve-se ao facto de o projecto estar pensado para parques de estacionamentos de centros comerciais, campus universitários, empresas, onde os veículos podem estar várias horas estacionados.

3.2.2.2 - Carregamento sem fios

Uma das estratégias para carregar os veículos eléctricos no futuro é através de tecnologias sem fios. O sistema é baseado no princípio de carga indutiva que emprega a mesma tecnologia usada para carregar uma escova de dentes electrónica. Esta permite aos utilizadores carregarem os veículos nos parques para o efeito, sem o recurso a cabos, bem como o possível carregamento com o veículo em movimento, por exemplo em auto-estradas. A Nissan já adoptou o carregamento através de tecnologia sem fios no modelo *Zero Emission Vehicle* (ZEV), visando para já o carregamento do veículo nos parques [16-17].



Figura 3-2 - Exemplo do carregamento sem fios em veículos eléctricos

Como se pode verificar na figura 3.2 [17], o veículo pode estar em circulação e ao mesmo tempo estar a receber energia eléctrica, a eficiência deste processo consegue atingir os 90% de aproveitamento [18-19].

3.2.3 - Padrão de consumo dos utilizadores e preços

Um aspecto em ter em conta, quando se fala do preço de carregar um veículo eléctrico é a hora em que se pretende carregar. Como podemos observar no exemplo a seguir o preço varia consoante a hora do dia:

Exemplo da variância dos preços [20]:

- Automóvel: Nissan Leaf
- Máxima velocidade: 140km/h
- Autonomia 160km
- Capacidade da bateria: 24kWh

Preço de carregar a bateria [21]:

- Hora de ponta: 2.68 Euro
- Hora de cheias: 2.01 Euro
- Horas de vazio normal: 1.26 Euro
- Horas de super vazio: 1.18 Euro

Este exemplo foi elaborado através de um tarifário da EDP (média tensão, 1º semestre e média duração [21]).

Fórmula usada:

$$\text{preço} = \text{preço kWh} \times \text{capacidade da bateria}$$

No seguimento dos resultados obtidos, é importante salientar a diferença de preços entre a hora de ponta e as restantes. Assim o utilizador poderá injectar energia na rede nas horas de ponta e de cheias e armazenar no veículo nas restantes horas.

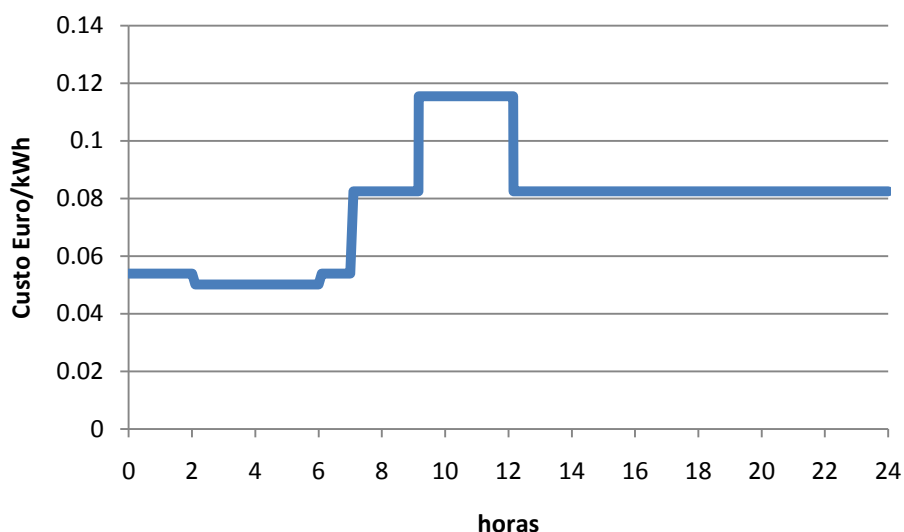


Figura 3-3 - Exemplo de variação do preço da energia ao longo de um dia

Os dados usados na elaboração do gráfico foram recolhidos do site da EDP [21] e são referentes ao terceiro semestre do ano para média tensão, visto que o operador de um parque deste género se enquadrar neste tipo de clientes (média tensão). Pode-se verificar a flutuação do preço da energia ao longo de um dia; é de salientar que no caso do carregamento normal, que em média demora 6-8 horas, podem ocorrer flutuações de

tarifários. No caso de carregamento rápido esta alteração de tarifários já não é tão variável devido à curta duração do mesmo (20-30 minutos).

3.2.4 - Estações de carregamento de veículos eléctricos

Nesta secção vão ser apresentadas estações que permitem carregar os veículos eléctricos, como a Coulomb Technologies e a MOBIE.

3.2.4.1 - Coulomb Technologies

CT1000 AND CT2000 Charge Point Networked Charging Stations[22]

A rede da Coulomb Technologies permite controlar através de um único *gateway* até 100 postos de carregamento. Esta comunicação entre o posto e o *gateway* é feita através da rede GSM.

Aspectos a realçar:

- Postos de carregamentos a funcionar 24/7
- Utilizadores podem subscrever um plano mensal ou simplesmente pagar pela sessão
- Cartão (Rfid) para efectuar pagamentos
- Opção de *roaming* de utilizadores de outras plataformas concorrentes, tal como é usado nos telemóveis
- Energia bidireccional, e.g., o veículo pode ser usado como um gerador

A Coulomb Techonologies pretende introduzir o conceito de uma rede de postos de carregamentos dispersos pelas cidades que permita reduzir a emissão de gases e que responda às necessidades dos utilizadores. Até ao momento está a ser implementada nos Estados Unidos, mais propriamente na Califórnia.

3.2.4.2 - MOBIE Mobilidade Eléctrica

A MOBIE[4] surge como resposta à necessidade de uma Rede de Mobilidade Eléctrica em Portugal, uma rede integrada de vários pontos no território nacional, que permitirá o abastecimento dos veículos eléctricos mediante um cartão de carregamento. A electricidade pode ser fornecida pelos diferentes comercializadores ou através de energias renováveis presentes no local. De seguida serão referidas algumas funcionalidades do serviço.

Funcionalidades no ponto de carregamento:

- Autenticação por cartão pré pago/ pós pago
- Carregamento lento e rápido
- Selecção do comercializador de electricidade, no ponto de carregamento
- Segurança: autenticação e conexão ou desconexão, apenas possíveis com cartão válido.
- Comunicação remota com sistemas de gestão da rede eléctrica e da rede de carregamento MOBIE

Funcionalidades acessíveis ao utilizador através de PDA, telemóvel e portátil:

- Saber o estado de carga da bateria do veículo
- Encontrar o ponto de carregamento mais próximo e reservar
- Factura única com todos os gastos efectuados

Funcionalidade de gestão da rede:

- Gestão dos pontos de carregamentos em tempo real
- Transmissão segura de dados entre a infra-estrutura e a entidade gestora da rede
- Monitorização remota do processo de carga
- Visualização de mapa de localização e estado da infra-estrutura
- Gestão da informação de carregamento por ponto e comercializador
- Concepção avançada antecipando lógicas bidireccionais (V2G)

Pode-se observar que o abastecimento de veículos eléctricos surge aliado as novas tecnologias, de forma a permitir ao utilizador diversas funcionalidades em tempo real.

3.2.5 - V2G (entre o veículo e a infra-estrutura)

Devido ao facto de os veículos estarem estacionados em média 95% do tempo, os veículos eléctricos podem fornecer um serviço à rede eléctrica e também constituir um benefício económico para os respectivos proprietários. O V2G permite que os veículos eléctricos se comportem como baterias de energia para a rede, armazenando energia nas horas de vazio (quando a energia é mais barata) e disponibilizando energia à rede nas horas de pico (quando a energia é mais cara) [23].

O V2G permite aos veículos fornecerem energia para a rede eléctrica (electricidade com 50/60 Hz AC). Como exemplo, um veículo pode gerar mais de 10 kWh, que em média dá para abastecer 10 casas tradicionais. O ponto-chave deste projecto é a relação entre o momento em que o carro está a carregar (a energia circula da rede para o veículo) e a altura em que está a fornecer energia (a energia circula do veículo para a rede) [24].

Dado que a produção de energia eólica é mais acentuada à noite, a rede constituída pelos veículos pode ser usada para armazenar essa energia e por consequência disponibilizar essa energia nas horas de ponta, substituindo assim algumas fontes de produção eléctrica poluentes.

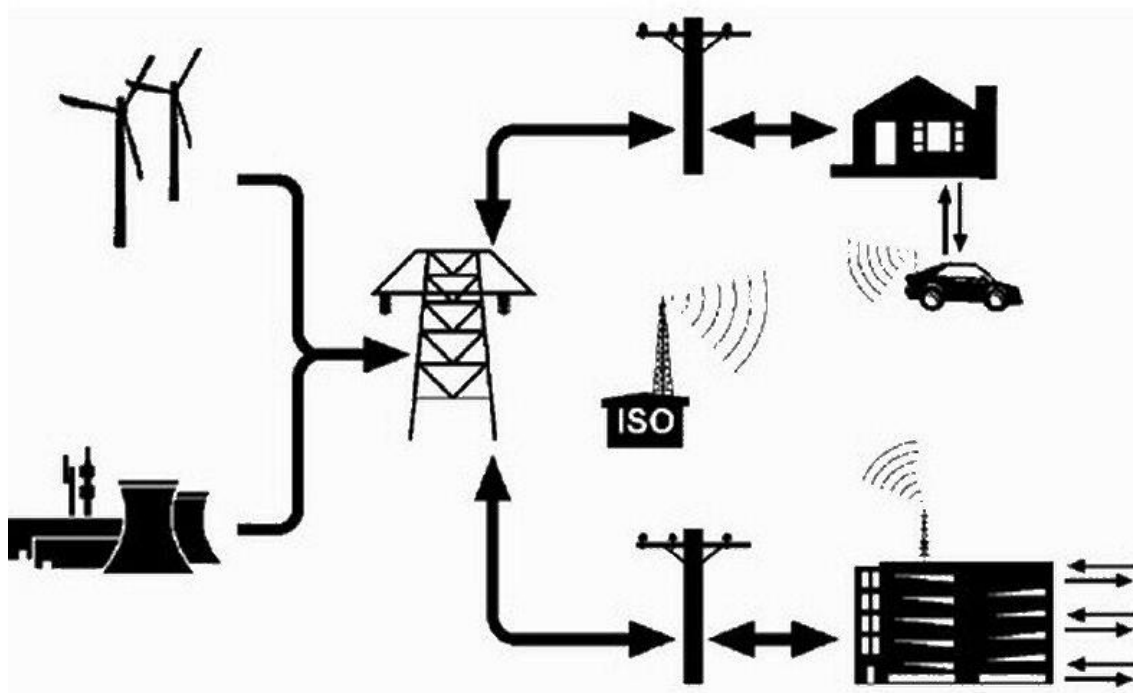


Figura 3-4 - V2G (entre o veículo e a infra-estrutura)

Para que o V2G possa ser implementado é necessária uma estrutura de comunicação entre os veículos e a rede eléctrica, como se pode comprovar na figura 3.4 [25].

3.2.6 - “Supressão” da limitação da autonomia

Um dos problemas dos veículos eléctricos é a reduzida autonomia quando comparada a dos veículos de combustão interna. Para resolver este problema, além das inovações nas baterias e da importância da distribuição dos pontos de carregamento, existem também soluções de *energy-sharing* e de tecnologias da informação e comunicação que podem ser exploradas.

Um dos objectivos da *energy-sharing* é a possibilidade dos veículos armazenarem energia e, através de comunicações sem fios trocarem informação entre si para comprarem ou venderem energia. Esta tecnologia está actualmente a ser desenvolvida pela *Intel* e pela *Venturi Fetish* [26].

Tecnologias de informação e comunicação, acessíveis através do veículo eléctrico, podem permitir o conhecimento de postos de carregamento mais próximos, planear a viagem, bem como indicar o número de km que é possível percorrer com o estado actual da bateria.

Em resumo, o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações para os veículos eléctricos pode ajudar a atenuar (ou resolver) o problema da autonomia.

3.2.7 - Medição e controlo da carga

O estado de carga de uma bateria é definido como a percentagem de carga residual, expressa em Ah (Ampere*hora), Wh (Watt*hora) ou km, em função da capacidade máxima da bateria.

3.2.7.1 - Formas de medir o estado de carga

Existem várias formas de medir o estado de carga de uma bateria:

i) Circuito Aberto

Este método sugere a medição da tensão presente na bateria quando esta se encontra em repouso e em circuito aberto, sendo de seguida os valores obtidos comparados com valores de tabela conhecidos. Infelizmente este método tem muitas desvantagens, pois requer que a bateria se encontre várias horas em repouso para alcançar uma tensão em circuito aberto estável, o que não é viável para um veículo eléctrico; para além disso, exige um voltímetro digital de elevada precisão [27].

ii) Através da corrente que entra e sai da bateria

Durante a carga de um veículo eléctrico a corrente de carga vai decrescer com a subida do estado de carga. Quando a corrente baixar para 1%-2% da capacidade da bateria (e.g. 1-2 A por 100 Ah), a bateria pode-se considerar cheia. Da mesma forma, se a corrente de carregamento for 15% da capacidade máxima, a bateria está a 85% da sua capacidade [27].

3.3 - Comunicações

Em consequência da evolução tecnológica que está a ocorrer, os utilizadores exigem ter acesso ubíquo à Internet; logo, o acesso a partir dos veículos deve igualmente ser contemplado. Estima-se que em todo o mundo e até 2016 existam 62.3 milhões de consumidores com acesso à Internet no carro [28]. De seguida vão ser descritas algumas das formas de efectuar este acesso e que podem ser também usadas para a comunicação entre o veículo e a infra-estrutura.

3.3.1.1 - Internet móvel 3G/UMTS/3.5G/4G

UMTS significa *Universal Mobile Telecommunication System*, também conhecido como 3G. A tecnologia móvel 3G surgiu como uma resposta à necessidade dos utilizadores de acederem à Internet, serviços, aplicações multimédia e e-mail a partir do seu dispositivo móvel. O 3G permite débitos variáveis e elevados, serviços assimétricos, multiplexagem de serviços, QoS (Quality of Service) variável e garante a coexistência e *handover* com sistemas 2G.

HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) é uma evolução do 3G também conhecido como 3.5G, que permite maior débito de dados em bandas de 5 MHz.

O serviço de Internet móvel é fornecido através da rede de operadores móveis espalhada pelos países. Em Portugal a rede nacional de 3.5G e 3G está disponível em todo o território, disponibilizando débitos até 21.6 Mbps de *download*. Nas zonas que tenham apenas cobertura 3G, as velocidades serão da ordem dos 384 kbps [29].

Está em desenvolvimento a tecnologia 4G que permite aos utilizadores, a partir dos seus veículos aceder à Internet e às aplicações baseadas em nuvem, o que possibilita aplicações como diagnósticos, navegação, entretenimento *on-demand* e outros tipos de informação disponível [30].

3.3.1.2 - Wireless Lan - IEEE 802.11(a/b/g/n/p)

As redes locais sem fios (Wireless LAN - WLAN) possibilitam um utilizador com um dispositivo móvel aceder a uma rede local (LAN) através de uma ligação rádio. Desta forma é possível aos utilizadores comunicarem entre si através de uma rede local, como também aceder a Internet, se a rede permitir esse acesso. De seguida serão descritas as diferentes variantes da norma IEEE 802.11:

i) 802.11 Norma b

A norma “b” remota a 1999 permite débitos até 11 Mbps (o que é substancialmente abaixo do que as novas normas desta tecnologia permitem) e usa uma frequência de 2.4 GHz. O problema desta frequência é que é sensível a interferências provenientes, por exemplo, de micro-ondas e telefones sem fios. Contudo a vantagem desta norma é o baixo custo [31].

ii) 802.11 Norma a

A norma “a” foi desenvolvida na mesma altura da “b” contudo, devido ao elevado custo a norma “a” foi pensada para empresas enquanto a “b” para o mercado residencial. Suporta até 54 Mbps de débito e a frequência usada é na casa dos 5 GHz, permitindo assim evitar interferências de outros dispositivos. O uso de altas frequências acaba por ter impacto no alcance do sinal, reduzindo o mesmo e possibilita o risco de obstrução devido a obstáculos (e.g. uma parede) [31].

iii) 802.11 Norma g

O surgimento da norma “g” remota a 2002; esta norma retém as melhores qualidades das normas “a” e “b”, tendo um débito de 54 Mbps na banda de 2.4 GHz, conseguindo alcances até 32m *indoor* e 37m *outdoor* [32] com débito de 54 Mbps e alcances de 140m *indoor* e 290m [32] *outdoor* com débito de 1 Mbps. Em termos de desvantagens a norma “g” é mais cara que a “b” e devido à banda de frequências utilizada é mais sensível a interferências [31].

iv) 802.11 Norma n

A mais recente norma é a “n” e foi concebida para aumentar a largura de banda em relação à “g”. Consegue obter até 600 Mbps de débito, e para alcançar estes valores é usada uma tecnologia chamada MIMO (*Multiple-input multiple-output*). O MIMO possibilita a utilização de vários sinais *wireless* e de várias antenas, ao contrário da norma “g”, em que era usada apenas uma. Assim, a norma “n” permite maior velocidade e melhor cobertura de sinal relativamente à norma “g”, devido ao uso de múltiplos sinais que conseguem vencer mais facilmente os obstáculos, mas torna-se mais sensível a interferências causadas por outros dispositivos, dado que a frequência 2.4 GHz é pública [31].

v) 802.11 Norma p

A norma “p” ainda se encontra em desenvolvimento. A inovação consiste em suportar transferências de dados entre veículos a altas velocidades e entre veículos e a infra-estrutura

rodoviária. A norma “p” utiliza uma frequência licenciada de 5.9 GHz (Europa) e como se pode concluir está a ser pensada para dotar os veículos com comunicação *wireless* [33].

3.3.1.3 - HomePlug

HomePlug é uma tecnologia de comunicação que utiliza a rede eléctrica das habitações para troca de dados. A tecnologia surgiu no ano 2000 com a versão HomePlug 1.0, que permite alcançar débitos até 14 Mbps em frequências entre 4.5 MHz e 1 MHz. O Homeplug AV suporta débitos até 200 Mbps, frequências entre 2 MHz e 28 MHz, cifragem AES 128 bits (*Advanced Encryption Standard*) e QoS (*Quality of Service*). O *HomePlug* é assim capaz de distribuir Internet, vídeo com alta definição (HD), música e aplicações de *smart energy* [34] [35].

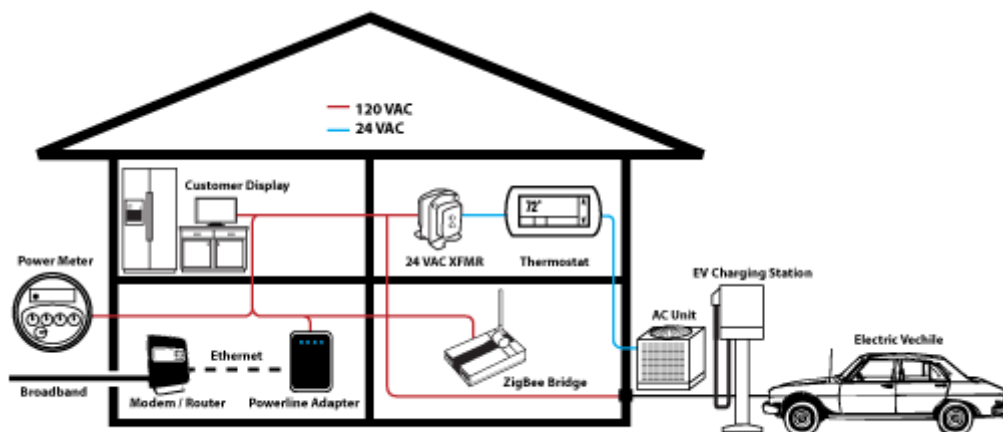


Figura 3-5 - Aplicação smart grid / smart energy [35]

Uma das vantagens do Homeplug é o desenvolvimento que está a ser efectuado nas redes eléctricas inteligentes, que permitem aos clientes domésticos controlar o carregamento dos veículos eléctricos Plug-in (PEV) e outros dispositivos eléctricos que estejam associados à rede doméstica (HAN) [35]. Esta tecnologia permite ao cliente monitorizar e gerir de forma mais eficiente o consumo de energia dos seus dispositivos. Uma das desvantagens do Homeplug para o projecto proposto nesta dissertação é que este está orientado para o mercado doméstico, tensões de 120 ou 240 V AC, sendo que o débito de transmissão de dados diminui na presença de tensões mais altas e de ruído (caso dos parques de estacionamento). A transmissão de dados através da rede eléctrica é possível devido ao uso de diferentes frequências da rede; a rede eléctrica tem uma frequência de 50/60 Hz para tensões de 120/240 V enquanto o HomePlug AV usa frequências entre os 2-28 MHz.

3.3.1.4 - Autonet Mobile

O Autonet Mobile disponibiliza o acesso à Internet no interior de um veículo através da rede 3G. O carro comporta-se como um *Hot-Spot*, em que os passageiros podem utilizar os habituais computadores e/ou telemóveis e acederem ao *Hot-spot* através de *wireless 802.11*. Para isso é colocado um router que faz a interface entre a rede 3G e a rede local sem fios. A empresa tem uma variedade de planos pagos para os vários tipos de consumidores. O serviço para já só está disponível nos Estados Unidos [36].

3.3.1.5 - LIWAS Traffic Warning System

O *LIWAS Traffic Warning System* é um serviço que fornece aos condutores informações sobre as condições meteorológicas. Este sistema é constituído por duas partes: uma é o sensor

colocado no veículo, que notifica o condutor sobre o estado da estrada no presente momento, outra é um sistema de comunicação *ad-hoc* que permite troca de informação entre veículos; desta maneira os condutores podem conhecer com antecedência informação relevante (condições de tráfego, condições atmosféricas, acidentes, etc.) e tomar as devidas precauções. Estes sensores além de estarem equipados em veículos podem também ser usados, por exemplo, em sinais de trânsito. Prevê-se que a comunicação *ad-hoc* venha a ser baseada em *Wireless IEEE 802.11* mas, numa primeira fase, devido a haver poucos veículos com esta tecnologia implementada, faz mais sentido o recurso a GSM/GPRS [37].

3.3.1.6 - MANET

MANET (mobile ad-hoc network)[38] é uma rede auto-configurável de dispositivos móveis ligados através de acessos sem fios. Cada dispositivo comporta-se como um router que encaminha o tráfego consoante as posições dos outros dispositivos, permitindo que estes comuniquem directamente. Os dispositivos são livres de mudarem a sua localização, sendo para isso necessário que a rede vista por cada um deles esteja em constante actualização, para que o tráfego seja encaminhado.

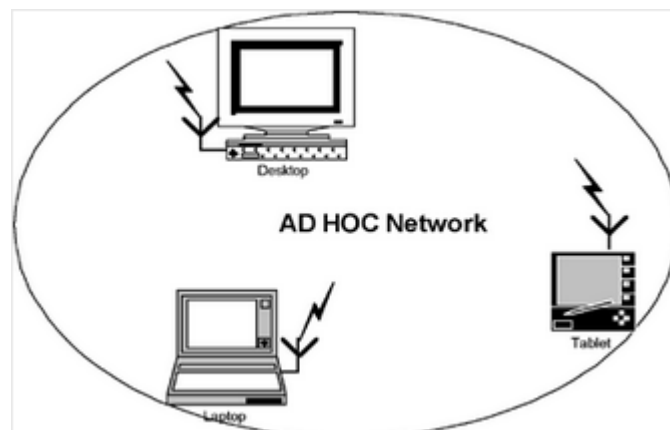


Figura 3-6 - Exemplo de uma rede AD HOC

Este tipo de rede móvel emalhada traz vantagens ao projecto em estudo, sendo que os veículos estacionados podem formar uma MANET. Desta forma os veículos através das tabelas de *routing* encaminham o tráfego até ao destino (e.g. centro de processamento de dados). Esta tecnologia tornaria o sistema escalável na medida em que não seria preciso instalar dispositivos de apoio para a comunicação (e.g. AP), sendo a rede formada pelos veículos usada para esse fim. Para além disso as actualizações necessárias nas tabelas de *routing* não se prevêem muito exigentes visto que é esperado que, fora das horas de ponta, o sistema esteja relativamente estável.

VANETs (Vehicular Ad-hoc Networks) e InVANETs [39](Intelligent Vehicular Ad-hoc Networks) estão a ser desenvolvidas para que, através dos veículos, se formem redes *ad-hoc* com os mesmos em movimento (e.g. na auto-estrada) e entre os veículos e infra-estruturas (e.g. uma infra-estrutura localizada junto duma auto-estrada para receber informação dos veículos). Contudo estas tecnologias são destinadas à troca de informações entre veículos a altas velocidades e com constantes alterações de localização, o que não é o caso de um posto de carregamento de veículos, onde estes se encontram normalmente parados e as alterações de localização não são tão frequentes.

3.3.1.7 - Redes infra-estruturada

Outro tipo de rede móveis é o das redes infra-estruturadas, que têm como característica principal o facto de os dispositivos móveis presentes comunicarem através de um ponto de acesso (e.g. AP). Desta forma todo o tráfego tem obrigatoriamente de passar pelo ponto de acesso, isto é, os dispositivos não podem comunicar directamente entre si.

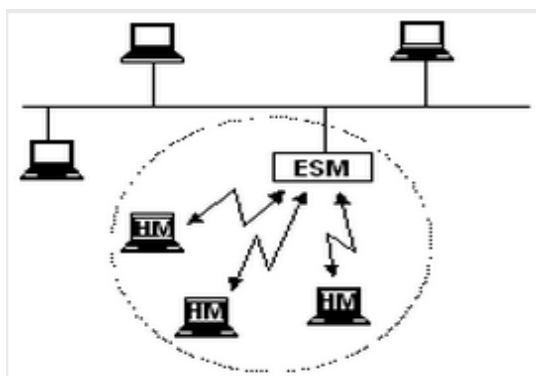


Figura 3-7 - Exemplo de uma rede infra-estruturada

Este tipo de rede tem bastante interesse para o projecto, devido ao facto de que na maioria dos casos os veículos não necessitem de comunicar entre si, mas apenas com o sistema. Desta forma os veículos estariam ligados directamente ao ponto de acesso mais próximo (que normalmente tem cobertura suficiente para o espaço abrangente).

3.3.1.8 - RFID

RFID significa “Identificação por Rádio Frequência” e é um método de identificação automática através de sinais rádio, que possibilita armazenar e aceder a dados remotos através de dispositivos normalmente chamados *tags* RFID. Podem-se distinguir três tipos de *tags*: *tags* que contêm uma bateria e podem transmitir de uma forma autónoma (*active RFID tag*); *tags* que não têm bateria e necessitam de uma alimentação externa (*passive RFID tag*); e *tags* que requerem uma fonte externa para acordar mas têm grande alcance de leitura dos cartões (*battery assisted passive*) [40].

O RFID tem interesse para o projecto, devido a poder ser usado para identificar a associação entre o veículo eléctrico e o posto de carregamento, bem como poderá permitir ao utilizador usar cartões RFID para se autenticar e aceder ao seu perfil.

3.4 - Conclusão

Depois de analisado o actual estado da arte, pode-se concluir que existe uma evolução tanto ao nível das tecnologias de comunicações como a nível das baterias e gestão da rede eléctrica. Estas evoluções podem efectivamente servir de suporte à massificação do veículo eléctrico e atenuar o problema da autonomia e do tempo de carregamento deste comparativamente aos veículos de combustão interna.

O veículo eléctrico, além de permitir reduzir a poluição local, pode também permitir (e.g., através de técnicas como o V2G) elevar a exploração das energias renováveis e em particular a energia produzida à noite (e.g., energia eólica), armazenando-a nos veículos e injectando-a na rede nas horas de ponta.

A actual evolução tecnológica ao nível de carregamento de baterias sem o recurso a fios e a nova norma 802.11p permitem antever futuras funcionalidades do veículo eléctrico - disponibilizando carregamento e transferência de dados com o veículo em andamento.

Um dos desafios associado à massificação dos veículos eléctricos, em particular das suas baterias, consiste no acesso e dependência dos materiais raros usados na produção das baterias como é o caso do *lithium*. De facto as reservas destes materiais encontram-se disponíveis num número muito restrito de países.

No próximo capítulo será apresentada uma análise das funcionalidades e requisitos que se colocam num sistema de gestão de carregamento de veículos eléctricos, tendo como base o estudo feito no estado da arte.

Capítulo 4

Análise do sistema

Com este capítulo pretende-se apresentar as funcionalidades e requisitos para um sistema de gestão de carregamento de veículos eléctricos com base no estudo feito no estado da arte.

4.1 - Análise de requisitos funcionais

Neste ponto vão ser descritos algumas das funcionalidades, dos diversos intervenientes e das suas respectivas inter-ligações.

4.1.1 - Utilizador

De forma ao utilizador conseguir obter acesso ao sistema e fazer a gestão do carregamento do seu veículo (e.g. o utilizador pretende ver o estado do carregamento do veículo) é necessário que o sistema possua alguma informação relativa ao utilizador. Como por exemplo:

- Identificação do Utilizador contendo os seus dados pessoais (e.g. nome, morada, nib, data de nascimento);
- Identificação do veículo (s) associado (s) ao Utilizador (e.g. matrícula, modelo).

Este tipo de informação permite associar um Utilizador a um ou mais veículos.

4.1.2 - Interface Utilizador/Sistema

O sistema de gestão deverá permitir ao utilizador especificar diversos parâmetros relacionados com o carregamento e disponibilizar funcionalidades que permitam controlar os referidos carregamentos. Algumas das funcionalidades vão ser apresentadas a seguir:

- Permitir ao utilizador autenticar-se perante o sistema, e ter acesso ao seu perfil;
- Permitir carregar o veículo eléctrico;
- Permitir escolher o tipo de carga (lento ou rápida);
- Permitir inserir a quantidade (%) de energia pretendida;
- Permitir inserir o tempo que o veículo vai estar estacionado (previsto);
- Permitir ao utilizador efectuar reservas;
- Permitir ao utilizador escolher o período, em que pretende que o veículo esteja em carregamento;

- Permitir consultar o balanço e emitir uma factura para pagamento;
- Permitir ao utilizador disponibilizar energia para a rede através do seu veículo;
- Permitir ao utilizador definir o preço mínimo por kWh pelo qual está disposto a injectar energia na rede.
- Permitir ao utilizador saber o tempo de carga previsto;
- Permitir ao utilizador saber o custo previsto do carregamento;
- Permitir ao utilizador definir o preço máximo que está disposto a pagar por kWh.

Eventualmente, no futuro, pode ser possível dotar o veículo de um agente que receba todas as indicações relativas a custos, tempo de carga e que age em prol dos objectivos do utilizador (e.g. efectuar a gestão de quando injecta ou armazena energia) e que coordena com o agente gestor de forma a defender os interesses do condutor do veículo durante um dia de estacionamento.

4.1.3 - Sistema

De forma a garantir as especificações definidas pelos utilizadores, são colocados alguns requisitos ao sistema:

- Efectuar a gestão do número máximo de utilizadores;
- Identificar o conjunto veículo, lugar de estacionamento e respectivo posto de carregamento;
- Disponibilizar a energia aos diversos veículos consoante os recursos da rede, tipo de veículos (e.g. prioritários ou normal), reservas e outros parâmetros inseridos pelo utilizador (e.g. quantidade de energia pretendida e tempo durante o qual o veículo vai estar estacionado);
- Controlar a quantidade de energia enviada/retirada de um veículo.
- Processar e actualizar os dados de cada utilizador relativos a custos de energia, tempo de carregamento e outros parâmetros;
- Efectuar a gestão dos veículos que pretendam fornecer energia à rede através do método V2G e, se for o caso, fazer a gestão dos recursos renováveis gerados localmente;
- Autenticar cada utilizador e processar as suas necessidades;
- Efectuar a gestão com a rede eléctrica para conseguir adaptar o sistema à flutuação do preço e disponibilizar essa variação aos veículos/utilizadores.

Estes requisitos visam otimizar e controlar a distribuição dos recursos energéticos disponíveis segundo as necessidades dos utilizadores. Através destas necessidades que são diferentes de utilizador para utilizador (e.g. quantidade de energia, tipo de carregamento, hora de saída) o sistema pode usar técnicas de escalonamento para otimizar a satisfação dos pedidos.

4.2 - Estratégia e especificação preliminar

Na sequência da análise dos requisitos para o projecto e da pesquisa bibliográfica e levantamento do estado da arte, vão ser descritas de seguida algumas opções e estratégias.

4.2.1 - Sistema - Processamento de Dados

O ponto principal do sistema é o servidor de processamento de dados que tem de suportar múltiplos utilizadores. O servidor tem de efectuar a gestão dos recursos disponíveis, que estão em constante actualização. É necessário saber em qualquer momento quantos lugares estão ocupados/livres e a percentagem de potência que está a ser consumida em relação à capacidade máxima e/ou energia renovável gerada. No seguimento do processamento de dados, indicam-se a seguir algumas variáveis necessárias para o servidor poder gerir a rede de carregamento.

4.2.1.1 - Algoritmo de gestão

De forma ao sistema processar/controlar as funcionalidades descritas anteriormente, é necessário um algoritmo que faça essa gestão de acordo com as especificações definidas pelo administrador (e.g. potência contratada, número de lugares) e os parâmetros indicados pelos utilizadores (e.g. quantidade de energia pretendida). Para auxiliar esta tarefa são enunciadas algumas variáveis necessárias:

- Número de veículos suportados;
- Número de postos de carregamentos;
- Número de veículos presentes no sistema;
- Potência a ser distribuída pela rede;
- Potência máxima disponível (pode depender das horas);
- Uma identificação de um Utilizador (um utilizador pode ter vários veículos, mas um veículo só deve ter um proprietário);
- Uma identificação para cada veículo (pode ser a matrícula, ou uma identificação do utilizador/proprietário);
- Potência a ser fornecida a cada veículo;
- Potência requerida pelo utilizador (para cada veículo);
- Preço por kWh (depende da hora);
- Período durante o qual o veículo vai estar ligado à rede (definido pelo utilizador);
- Tipo de funcionamento do veículo (carga/descarga);
- Tipo de carregamento (lento/rápido);
- Variável para definir se o utilizador quer um carregamento no modo “poupança” ou no modo “normal” (descrição dos dois modos mais à frente);
- Tipo de utilizador registado/casual;
- *Flag* para reserva;
- *Flag* para veículos prioritários.

Diferenças entre o modo poupança e normal (serviço disponível para o tipo de carregamento lento):

- Modo de poupança: este modo é orientado para utilizadores que não têm urgência em carregar o veículo e que pretendem que o veículo seja carregado nas horas mais económicas (eventualmente definindo um valor máximo por kWh que estão dispostos a pagar).
- Modo normal: neste método o veículo é carregado dependendo da disponibilidade da rede, sem ter em consideração o preço (i.e., o preço pode variar consoante a hora a que é feito o carregamento).

Exemplo: Um utilizador estaciona no parque da sua empresa e pretende deixar o carro das 15h até às 23h. Se seleccionar o modo “poupança” e havendo disponibilidade para iniciar o carregamento imediatamente, o carro será carregado nas horas de vazio de modo a ser mais económico (e.g., pode só começar a carregar a partir das 21h). Caso opte pelo modo “normal” é realizada uma carga lenta durante o período em causa.

4.2.1.2 - Identificação da ficha eléctrica/tomada que está associada a cada veículo:

O sistema necessita de saber em qualquer momento qual é a ficha eléctrica que está associado a cada veículo, de forma a poder processar o carregamento. De seguida são enumeradas algumas opções:

- Número da ficha eléctrica. O utilizador introduz o número da ficha que pretende utilizar. Isto implica colocar uma *tag* em cada conector, ou utilizar outra tecnologia equivalente que permita fazer esta associação.
- Reconhecimento de matrícula. Em cada lugar de estacionamento deve existir um sistema que leia a matrícula e envie a informação para o sistema. Este de seguida processa a matrícula e identifica o veículo que se encontra naquele lugar.
- *Tags Rfid*. Uma *tag Rfid* na ponta da ficha eléctrica e uma *tag Rfid* no carro que indique a informação sobre o veículo

A identificação da ficha associada a cada veículo pode ser efectuada através de qualquer das hipóteses referidas em cima.

4.2.2 - Comunicação: Veículo <-> Sistema

Depois de analisadas as diferentes tecnologias de comunicação (cap. 3.3) pode-se concluir que para a comunicação entre o veículo e a infra-estrutura, o *Wireless 802.11* norma “n” surge como melhor opção devido a ser a norma mais recente e conseguir maior débito e alcance do que as outras normas, isto para a estratégia de criação de uma rede local. Contudo é necessário ter em atenção alguns aspectos:

- Segurança da rede de modo a tornar a comunicação confidencial e autenticada entre os intervenientes;
- Interferências de outras redes, pelo facto de a frequência utilizada ser pública, bem como possíveis congestionamentos na rede (e.g. excesso de utilizadores ligados a um AP), sendo portanto necessários métodos de controlo de fluxo e de qualidade de serviço.

Em relação ao UMTS, se o veículo possuir acesso à Internet através de 3G ou mesmo outro tipo de ligação, o utilizador pode aceder ao portal Web e assim processar a informação pretendida. Perante isto o UMTS aparece como uma solução, mas do lado do veículo. Contudo esta solução requer que o sistema de gestão de carregamentos de um determinado local esteja acessível pela Internet.

O *Homeplug* poderá usar a própria rede eléctrica para troca de informação, o que poderá facilitar a infra-estrutura à custa da instalação de equipamentos em todos os veículos. Tal

como com outras tecnologias, o Homeplug poderá facilitar o acesso ao estado da bateria, carregamento do veículo, bem como apresenta maior fiabilidade a obstáculos e interferências externas do que as tecnologia sem fios. Apesar disto o *Homeplug* tem a desvantagem de ter sido concebido para o mercado doméstico, sendo que no caso de uma rede de postos de carregamentos onde as tensões usadas poderão ser relativamente altas (e.g. 400V) irá ter impacto no mesmo. Como tal, não se apresenta como uma solução viável em sistemas que suportem carregamento rápido.

O modo de comunicação Wireless pode ser *ad-hoc* ou infra-estruturado. Numa arquitectura *ad-hoc* poderão ser usado os nós (veículos estacionados) de modo a formar uma rede inter-veicular. O facto de os veículos num parque não estarem em constante alteração de posição torna esta solução uma opção viável que permite tornar o sistema escalável sem necessidade de infra-estrutura de comunicação própria, mas também torna a comunicação mais complexa. Numa arquitectura infra-estruturada, os veículos comunicam directamente com a estação de carregamento. Assim, o modo infra-estruturado surge como principal solução, especialmente devido ao facto de o tráfego ser entre o sistema e os veículos, e não entre os veículos, caso em que o modo *ad-hoc* poderia trazer mais vantagens.



Figura 4-1 - Esquema da comunicação entre o veículo e o Sistema

Para a comunicação ser efectuada por *Wireless IEEE 802.11* em modo infra-estruturado, entre o próprio veículo e o centro de processamento de dados, é necessário, para facilitar a comunicação e a expansão do próprio sistema, instalar módulos de comunicação (e.g. um tradicional AP) em pontos estratégicos da infra-estrutura em causa de forma a cobrir todo o local e evitar problemas de congestionamento. A comunicação tem de ser efectuada de uma forma segura que permita total confidencialidade dos dados. Para controlar possíveis erros na comunicação e perda de dados deverá ser usada comunicação TCP/IP. Para facilitar e tornar intuitiva a funcionalidade do sistema deverá ser criada uma página Web para efectuar a interface entre os dois intervenientes (e/ou adopção de *WebServices* para a comunicação automática, *machine-to-machine*, entre módulos do veículo e do sistema). Através da página Web o utilizador pode efectuar o seu registo, efectuar reservas, realizar consultas, entre outras funcionalidades disponibilizadas pelo sistema. De realçar que ainda estão em aberto outras hipóteses, como por exemplo usar uma estrutura *ad-hoc* em vez do modo infra-estruturado.

4.2.3 - Energia: Veículo <-> Sistema

A interface entre o veículo e a rede eléctrica será efectuada com recurso a um cabo. Alguns cuidados têm de ser tidos em conta: a ligação só pode ser estabelecida/removida com autorização prévia e deve existir uma protecção para eventuais picos de tensão que possam existir na rede, de forma a proteger o veículo. A potência a ser oferecida ao veículo será gerida pelo servidor consoante a disponibilidade. Eventualmente, o sistema pode oferecer

sempre a mesma potência baseada nos 220 V, permitindo ao sistema gerir o tempo em que essa potência está a ser fornecida a cada veículo. Deverá ser possível em qualquer momento disponibilizar ao sistema de gestão o estado da bateria, bem como informar quando a mesma se encontra cheia e como tal libertar o recurso. Poderá também ser o sistema a calcular o estado da bateria através da corrente de carga como foi referido anteriormente. Eventualmente também podem ser lançados alarmes em determinadas situações (e.g. “interrupção do carregamento” que pode ser devido a corte do cabo, problemas eléctricos, avarias, etc.).

4.2.4 - Sistema de Processamento de dados

O sistema de processamento de dados deverá ter acesso às variáveis necessárias para o algoritmo, e.g., armazenadas numa base de dados, de forma a ser possível o acesso de uma forma fácil e rápida.

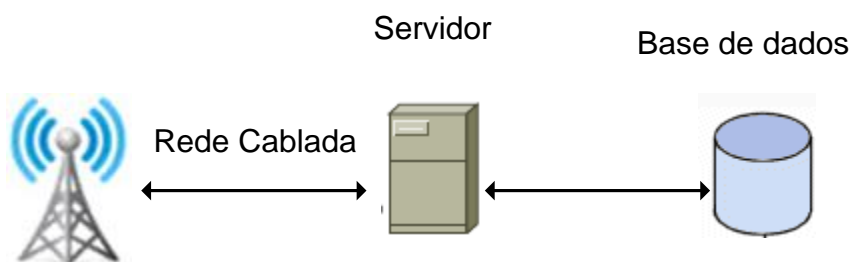


Figura 4-2 - Diagrama de uma possível solução para o processamento de dados

O servidor deverá ser um sistema distribuído *multi-thread* para conseguir suportar vários utilizadores, ser tolerante a eventuais falhas, quebras de serviço, passando ainda a potencial solução por usar mecanismos de replicação e *clusters*, como exemplo. Uma das soluções pode passar por diferenciar os pedidos provenientes dos utilizadores por categorias (e.g. tipo de veículo, com reserva, prioritário) e desta forma ter um servidor para cada categoria.

4.2.5 - Página Web

A página Web pretende ser o interface entre o utilizador e o sistema. Deve permitir o registo de perfil dos utilizadores onde além de dados pessoais (e.g. nome, morada, sexo, etc.) se encontra também os veículos que lhe estão associados. Uma funcionalidade que pode ser implementada é a associação de um conta bancária ao utilizador e através desta fazer pagamentos ou receber dinheiro no caso de “venda” energia. Caso o utilizador não pretenda facultar dados bancários poderão ser incorporadas alternativas, por exemplo geração de uma referência para pagamento por multibanco.

Os utilizadores registados podem ter acesso em tempo real à informação do preço de energia e do estado de bateria dos seus veículos. O utilizador pode, consoante as variações de preços e carga da bateria do seu veículo, decidir vender ou comprar energia (e.g. o utilizador verifica que num dia específico o parque está sobrelotado e tem energia suficiente para o gasto diário, podendo decidir-se por vender a energia). Além destas funcionalidades, disponíveis através de acesso Web, os utilizadores podem ainda fazer marcações de reservas, consultar a lotação e a disponibilidade do parque, ver a localização dos parques e locais livres bem como consultar históricos dos carregamentos efectuados.

Desta forma a página Web revela-se como um elo importante entre o utilizador e o sistema de carregamento de veículos, permitindo ao utilizador em qualquer lugar através do seu telemóvel, portátil ou do seu veículo ter acesso à informação relevante.

4.3 - Modelos de negócio

As políticas implementadas num sistema de carregamento de veículos eléctricos estão sempre dependentes do modelo de negócio e realidade onde estão inseridos. Podem ir de parques de carregamentos para centros comerciais, universidades, empresas, locais onde as pessoas estacionam os carros no dia-a-dia e aproveitam desta forma para carregar o veículo, locais específicos para o carregamento eléctrico - equivalente às actuais bombas de gasolina, etc.

Conforme as necessidades de cada sistema podem existir diferentes opções ao nível das políticas adoptadas (e.g., os lugares disponíveis para carregamento podem ser exclusivos para veículos eléctricos ou “mistos” - albergando todo o tipo de veículos). O preço das reservas efectuadas pelos utilizadores pode contemplar a energia ou o valor da energia e o lugar de estacionamento. Em relação aos veículos prioritários, estes podem ter uma fasquia (%) máxima de energia que podem utilizar de modo a não prejudicar os outros veículos; contudo, estas limitações têm de estar previstas no contrato entre os utilizadores e o sistema. Uma das opções que pode ser implementada com a ajuda das novas tecnologias é a de permitir ao utilizador, no percurso para o local de carregamento, consultar através da Internet se existem recursos disponíveis; caso não existam, pode ser indicado outro parque para o efeito.

Como facilmente se compreende, o carregamento de veículos eléctricos além de potenciar o uso de energias limpas e de diminuir a dependência do petróleo, também é um negócio. Desta forma, um sistema de gestão de carregamentos de veículos eléctricos tem de ser configurado conforme o local onde se pretende instalar e não de uma forma generalista.

4.4 - Conclusão

A análise dos requisitos e funcionalidades realizada neste capítulo surgiu como ponto de partida para o desenvolvimento do algoritmo implementado nesta dissertação.

O próximo capítulo apresenta a arquitectura e os respectivos módulos do algoritmo implementado.

Capítulo 5

Desenvolvimento

No processo de desenvolvimento de um algoritmo inteligente capaz de otimizar os recursos energéticos disponíveis, vai ser apresentado neste capítulo a estrutura e os módulos do algoritmo responsáveis por fazer a gestão do carregamento de veículos eléctricos. Serão ainda apresentadas as opções disponíveis para o cliente bem como a forma como os dados são processados de acordo com as prioridades definidas para cada tipo de cliente.

5.1 - Análise dos módulos implementados

Nesta secção identificam-se os módulos que foram desenvolvidos e implementados no decorrer desta dissertação. Para uma melhor compreensão do desenvolvimento realizado, é recordado o diagrama apresentado no capítulo 2.

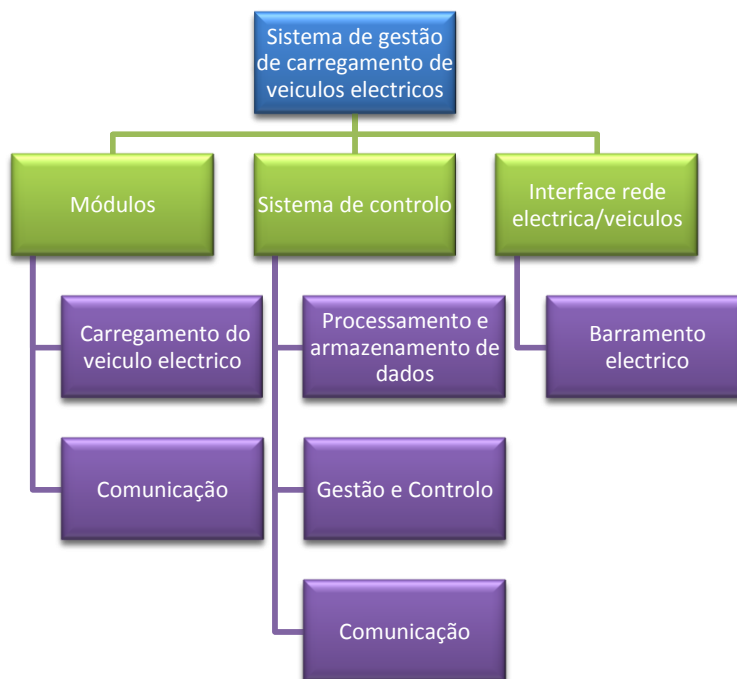


Figura 5-1- Diagrama das funcionalidades do sistema físico

Do diagrama apresentado em cima podemos observar os diversos módulos de um sistema de gestão de carregamento de veículos eléctricos. Contudo, devido ao curto espaço de tempo desta dissertação nem todos os módulos puderam ser desenvolvidos e simulados. Desta forma deu-se maior relevo aos módulos de gestão e controlo do sistema e da rede eléctrica, que permite fazer a gestão da distribuição da energia consoante os recursos disponíveis, gerir as reservas, número de lugares livres, veículos prioritários, bem como adaptação a situações inesperadas como falhas de energia. Além disso, permitir aos utilizadores identificarem o tipo de carregamento pretendido (e.g., lento ou rápido) e indicarem alguns atributos como a quantidade de energia pretendida e a hora em que estimam abandonar o local, permitindo assim que o sistema processe e faça a gestão da rede consoante as necessidades e os recursos da mesma. O foco deste trabalho não era as tecnologias de comunicação e que, da forma que o sistema está implementado ele suporta algum atraso no envio/recepção de mensagens (por causa dos 15min de periodicidade de actualização de dados e actualização de carregamentos - entrada/saída de unidades) sendo mais crítico a falha/perda de mensagens. Contudo nenhum destes casos (atrasos e perdas de mensagens) foi simulado sendo previsto como trabalho futuro a avaliação do impacto destes parâmetros.

5.2 - Funcionalidades disponíveis para o utilizador

Nesta secção vão ser descritas as opções que o sistema de carregamento disponibiliza ao utilizador comum, bem como os diversos tipos de cliente que o sistema abrange.

5.2.1 - Tipo de cliente

No sistema concebido foram considerados três tipos de clientes (no entanto nada impede que tivessem sido ou possam vir a ser considerados outros tipos, se tal se vier a justificar). Estes tipos de clientes foram escolhidos segundo os requisitos presentes na secção 2.2.2.1.

Normal - O cliente típico sem qualquer tipo de prioridade.

Premium - Este tipo de cliente tem um estatuto superior aos utilizadores “Normais”, podem ser cargos de chefia ou utilizadores que pagam uma taxa extra por mês para obter esse estatuto (para efeitos de cálculo de retorno do sistema não foi atribuído qualquer valor mensal a estes utilizadores).

Reserva - Os clientes podem efectuar uma reserva com um mínimo de 4h de antecedência (por configuração, embora este valor pode ser alterado), a reserva tem um custo associado e por consequência tem um estatuto superior aos restantes tipo de cliente.

5.2.2 - Modo de funcionamento

Existem três modos de funcionamento:

Carregamento - Permite ao utilizador carregar o seu veículo.

Descarregamento - Permite ao utilizador vender energia ao sistema, que porventura tenha adquirido noutro lugar (e.g. em casa durante a noite).

Compra e venda - Permite ao utilizador comprar ou vender energia, fazendo uso da variação do preço ao longo de um dia, neste caso o utilizador entra num sistema diferente do tipo de um leilão, contudo isto será explicado mais a frente.

Outra opção disponível é o “desligar” que indica que o veículo vai sair do sistema e pretende que seja calculado o preço a pagar e a respectiva quantidade. De realçar que o modo de Descarregamento (venda de energia) e o de compra e venda, não foram implementados sendo que as próximas secções descrevem apenas os processos de carregamento. Na parte final do capítulo serão analisados esses dois módulos para uma possível implementação.

5.2.3 - Tipo de carregamento

Existem dois tipos de carregamento:

Rápido - Esta opção permite aos utilizadores carregarem em 30 minutos um veículo com uma bateria de capacidade igual a 20 kWh; sendo disponibilizada uma potência de 40 kW.

Lento - Este tipo de opção permite o carregamento em 8 horas de um veículo com uma bateria de capacidade igual a 20 kWh; a potência utilizada é de 2.5 kW.

A fórmula usada para estes cálculos foi a seguinte:

$$\text{Energia (kWh)} = \text{Potência (kW)} * \text{número de horas (h)}$$

Para o cálculo da potência que o sistema disponibiliza foi atribuída uma capacidade de bateria de 20kWh [15]. Por sua vez o número de horas usado foi de 8h para carregamento lento e 30min para carregamento rápido [15]. Estes dois tipos de carregamentos foram implementados de acordo com o requisito da secção 2.2.2.3.

5.2.4 - Outros parâmetros

Os parâmetros apresentados a seguir correspondem a informação que o cliente tem de disponibilizar para o correcto funcionamento do sistema, de forma a satisfazer os objectivos e requisitos presentes na secção 2.1 e 2.2.2.4.

5.2.4.1 - Quantidade de energia

O utilizador deve indicar a quantidade de energia que pretende adquirir (e.g., 10 kWh).

5.2.4.2 - Hora de saída

Para otimizar a gestão dos recursos, o utilizador pode indicar a hora prevista de saída do veículo do parque, sendo que este parâmetro é opcional e o sistema reage caso o utilizador antecipe a saída.

5.2.4.3 - Preço

O utilizador deve indicar o preço máximo que está disposto a pagar por kWh. Como o preço da electricidade pode variar ao longo de um dia (conforme o contracto energético estabelecido), é dada ao utilizador a possibilidade de escolher o preço máximo que está disposto a pagar. Para além da variação do preço da energia estabelecido por contracto, o sistema desenvolvido neste projecto contempla a integração de energia vinda de fontes renováveis locais o que, tendo preços distintos da energia adquirida na rede, provoca variações no preço final consoante a percentagem de integração de energia de cada fonte (i.e., rede ou renováveis).

5.3 - Escalonamento dos dados

Nesta secção vai ser apresentado a forma de gestão dos recursos por parte do algoritmo, através dos módulos que o constituem, com o auxílio de diagramas, para melhor compreensão.

5.3.1 - Vista geral da arquitectura de escalonamento dos pedidos

Conforme descrito existem três tipos de cliente, cada um com prioridades diferentes. Como consequência, o algoritmo necessita de processar os pedidos com respeito à política implementada para os diversos tipos de clientes. Para responder a esta situação foi implementado um sistema baseado em escalonamento de processos. Assim os pedidos provenientes dos clientes numa primeira fase são analisados e encaminhados para a respectiva fila de espera. Este tipo de implementação torna o sistema distribuído permitindo que as filas de espera possam ser implementadas em diferentes servidores. Tal pode ser observado no diagrama apresentado a seguir.

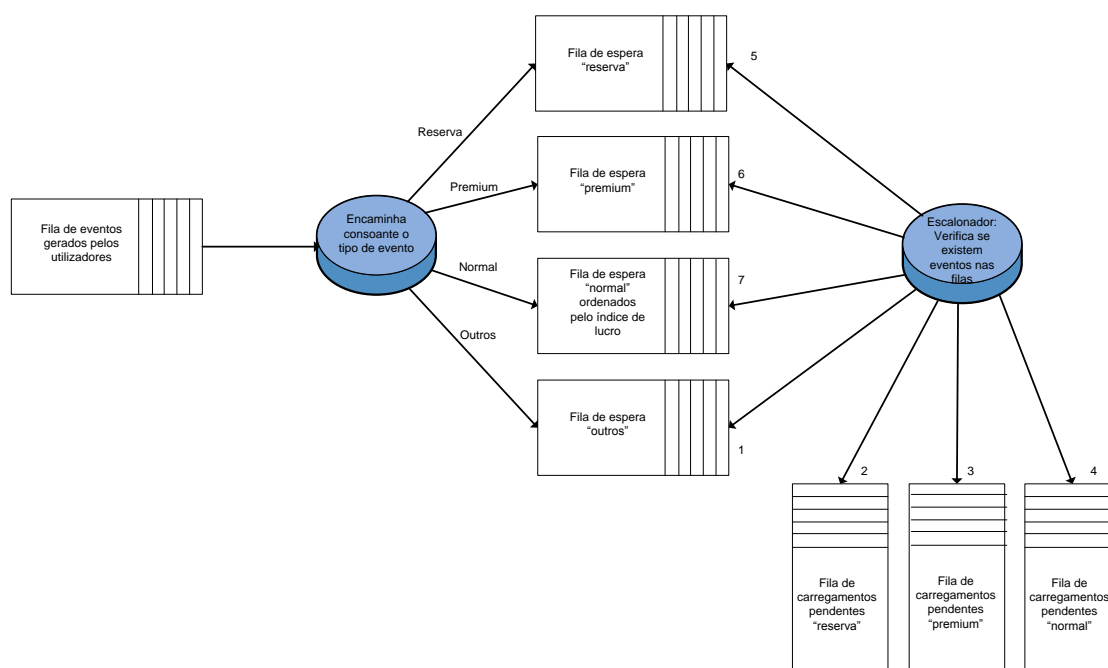


Figura 5-2 - Visão geral da arquitectura do sistema de escalonamento de pedidos

Como podemos observar na figura 5-2 os pedidos são separados, numa fase inicial, consoante o tipo e encaminhados para a respectiva fila. Existe um escalonador que é o responsável por consultar e processar os pedidos que estão nas diferentes filas. O escalonador consulta as filas através da prioridade da mesma, como se pode comprovar na figura existe uma numeração de um a sete que corresponde à prioridade de cada fila. O escalonador também é responsável pelo tratamento das filas de carregamentos pendentes; estas filas correspondem a carregamentos que, por diversas razões (e.g. quebra de energia), tiveram de ser suspensos.

5.3.2 - Filas de espera

Nesta secção vão ser apresentadas as políticas implementadas nas filas de espera do algoritmo.

5.3.2.1 - Fila de espera - Normal

Esta fila de espera, como o nome diz, é responsável por organizar os pedidos de carregamento feitos pelos utilizadores do tipo “Normal”. Os pedidos são organizados através de um índice de lucro para o sistema calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{índice de lucro} = \text{preço kWh} * \text{quantidade}$$

Este índice permite ao sistema organizar os pedidos na fila pelo peso que cada um representa. Desta forma os pedidos que teoricamente apresentem mais lucro são os primeiros a ser processados. De realçar que o preço kWh varia ao longo do dia. O módulo referente ao cálculo do preço do kWh será apresentado mais a frente.

Para fazer a ordenação da fila de espera dos veículos Normais existiam outras hipóteses como por ordem de chegada, preço oferecido por kWh, tipo de carregamento rápido ou lento.

No entanto devido a uma potencial limitação a nível de lugares de carregamento que pode provocar que nem todos os veículos tenham acesso ao sistema é preferível atribuir esses lugares aos veículos que apresentem maior índice de lucro para o sistema. Contudo este aspecto depende das políticas implementadas e pode ser alterado.

5.3.2.2 - Fila de espera - Premium

Esta fila de espera é destinada aos clientes com estatuto “Premium”. Os pedidos presentes têm prioridade em relação aos utilizadores “Normais”; contudo para não ocorrerem casos de negação de serviço dos pedidos “Normais”, os clientes “Premium” podem ocupar no máximo 15% dos recursos energéticos disponíveis. Estes recursos energéticos correspondem à energia disponível para carregamento de veículos (resulta da diferença entre: *energia_contratada* + *energia_das_renováveis* - *energia_consumida_edificio* e pode sofrer variações diárias). Este valor de 15% foi atribuído por configuração e pode ser alterado no sistema.

Clientes Premium que cheguem após terem sido esgotados os 15% da energia para a qual têm prioridade podem entrar no sistema como clientes Normais, ou serem encaminhados para outro parque que tenha recursos energéticos disponíveis.

5.3.2.3 - Fila de espera - Reserva

Esta fila de espera é destinada aos clientes que efectuaram uma marcação de reserva com antecedência mínima de 4 horas. O valor de 4 horas foi atribuído pelo facto de representar metade do tempo de carregamento total de um veículo lento e assim facilitar a gestão dos carregamentos. O sistema disponibiliza 15% dos recursos disponíveis aos pedidos com estatuto de Reserva, contudo se não existirem reservas a energia pode ser aproveitada pelos veículos Normais (no entanto se o sistema necessitar dessa energia para oferecer a um veículo com estatuto de Reserva o carregamento do veículo Normal é suspenso). Os recursos energéticos dos veículos com Reserva são os últimos a serem apreendidos pelo sistema em caso de necessidade.

5.3.2.4 - Fila de espera - Outros

Esta fila de espera é orientada para pedidos que vão além do pedido de carregamento do veículo. Pedidos que passam pela fila de espera - “outros” são os pedidos de “desligar

veículo” que é lançado quando o cliente pretende abandonar a estação de carregamento e o pedido de efectuar uma reserva. Eventos como potenciais quebras de energia também passam por aqui; por esta razão tem prioridade máxima em termos de atendimento pelo escalonador.

5.3.3 - Escalonador

O Escalonador é o responsável por verificar se existem pedidos à espera nas filas; esta verificação é efectuada com a seguinte ordem/prioridade:

1. Outros
2. Pendentes (Reserva)
3. Pendentes (Premium)
4. Pendentes (Normal)
5. Reserva
6. Premium
7. Normal

A fila de espera de pedidos pendentes corresponde a pedidos que foram aceites pelo sistema mas tiveram o carregamento suspenso totalmente ou parcialmente, desta forma estes veículos tem prioridade em relação aos novos clientes que chegam ao sistema. O escalonador recolhe todos os pedidos de uma fila e só a seguir segue para outra. Esta opção não causa estagnação nas filas de espera devido a política implementada para veículos Premium e Reserva só poderem ocupar 15% dos recursos energéticos.

De seguida vai ser descrito como o algoritmo que efectua o processamento de cada pedido.

5.3.3.1 - Tipo de resposta aos pedidos

Quando um pedido dá entrada no sistema podem ocorrer três situações:

Pedido rejeitado - Significa que não existem recursos disponíveis no sistema para processar o pedido; neste caso, o utilizador pode optar por manter o pedido na fila à espera de uma eventual libertação de recursos, tentar entrar no sistema como outro tipo de utilizador (Premium, Reserva, Normal) ou então deslocar-se até outro parque.

Pedido aceite - Significa que o pedido de carregamento foi aceite na totalidade, o pedido é removido da fila de espera e o algoritmo procede com a respectiva atribuição de recursos e carregamento do veículo.

Pedido aceite parcialmente - Significa que apenas uma parte do pedido foi aceite: é calculada a quantidade de energia em falta e inserido um novo pedido na fila de espera inicial, com a nova quantidade de energia, o pedido inicial é removido.

5.3.3.2 - Número de lugares livres

Além da energia disponível, outro factor que limita o carregamento de veículos eléctricos é o número de lugares disponíveis. Esta limitação pode provocar que o sistema, ainda que tenha potência disponível para fornecer aos veículos, devido ao facto de não existirem lugares disponíveis, a potência não pode ser atribuída e por consequência os veículos não são carregados.

5.3.4 - Turnos

Para auxiliar o escalonamento de pedidos, foi implementada uma variável que divide o tempo que um veículo está a carregar em turnos (*slots*) de 15 minutos. Desta forma se um

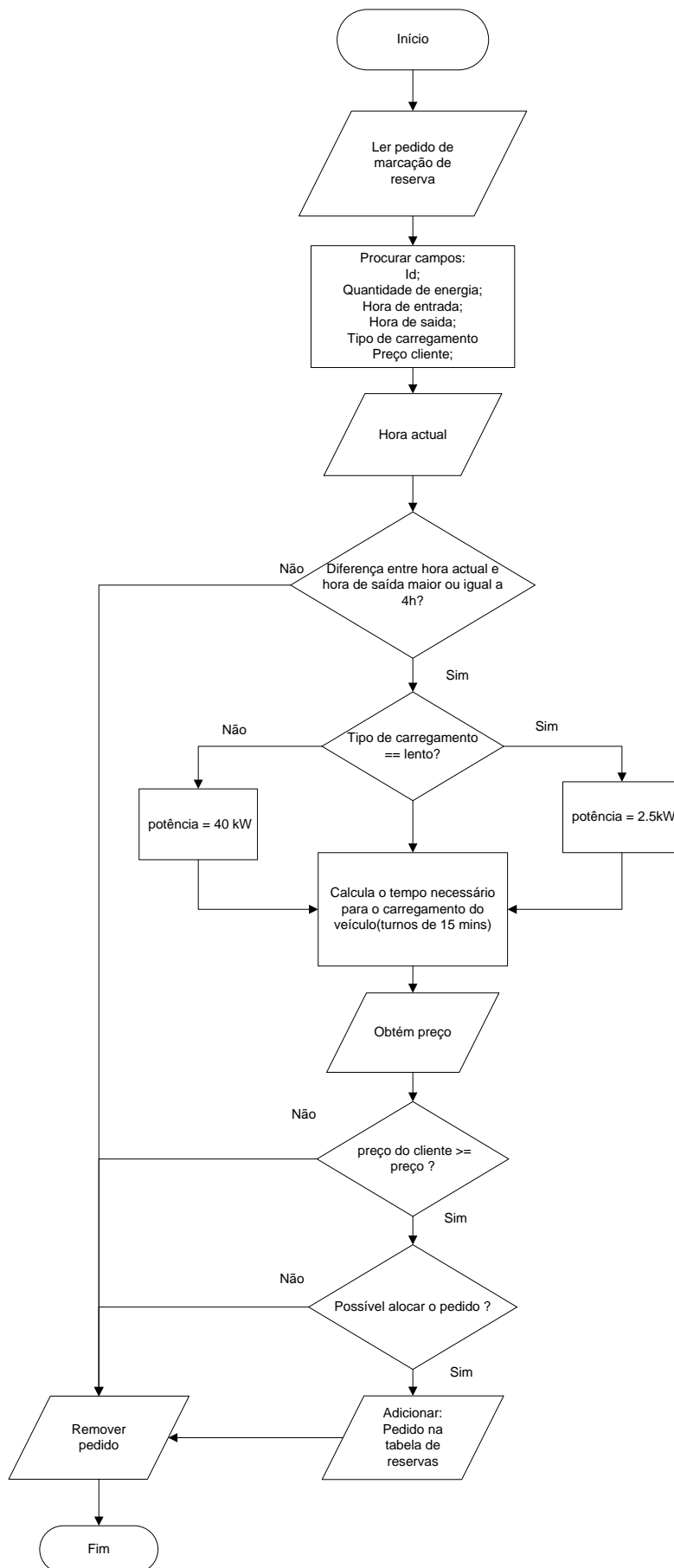


Figura 5-4 - Módulo de marcação de reservas

Como é possível observar no fluxograma a primeira acção do algoritmo é validar se o utilizador está a fazer a marcação com 4h de antecedência. De seguida verifica o tipo de carregamento (lento ou rápido), calcula o tempo necessário para o mesmo e verifica se o preço que o cliente está disposto a pagar é superior ou igual ao preço pretendido pelo sistema. Por fim verifica se há recursos para satisfazer a reserva e caso existam o pedido é adicionado na tabela de reservas. É adicionado o identificador do veículo, a hora de entrada e de saída, o número de turnos adicionados e o tipo de carregamento. O pedido de marcação de reserva é removido. De realçar que, caso o algoritmo apenas consiga atribuir uma parte dos turnos pretendidos pelo utilizador, o pedido é aceite (classificado como “parcial” existindo um tratamento adequado associado à fracção de energia aceite e não pedida nesta interacção) e a reserva é marcada mas apenas com os turnos atribuídos. Pode-se observar de seguida um exemplo de um pedido adicionado na tabela de reservas.

```
{ id0_reserva, 2010-03-22-14:50:05 2010-03-22-21:01:05 16 lento }
```

O id0 corresponde ao identificador do veículo, as datas correspondem à hora de início e fim da reserva, o número “16” corresponde ao número de turnos reservados e “lento” é o tipo de carregamento.

5.3.4.2 - Escalonamento das Reservas

Este módulo corresponde a activação da reserva por parte do utilizador, depois de ter feito previamente a marcação de reserva.

Neste caso a primeira acção do algoritmo é verificar se existem lugares disponíveis para atribuir ao veículo ou se o veículo já tinha um lugar atribuído (o veículo pode já estar em carregamento - e.g., pedidos de carregamentos parciais). De seguida caso existam lugares livres o algoritmo vai verificar se a reserva existe. A reserva deverá ter sido feita com 4 horas de antecedência; caso a mesma não exista ou a hora reservada tenha expirado, o pedido é rejeitado e removido da fila. Na existência de recursos disponíveis (energia disponível nos 15% para “Reservas” que consiga contemplar o pedido) o pedido é processado e eliminado da fila. Este módulo pode ser observado no diagrama apresentado a seguir.

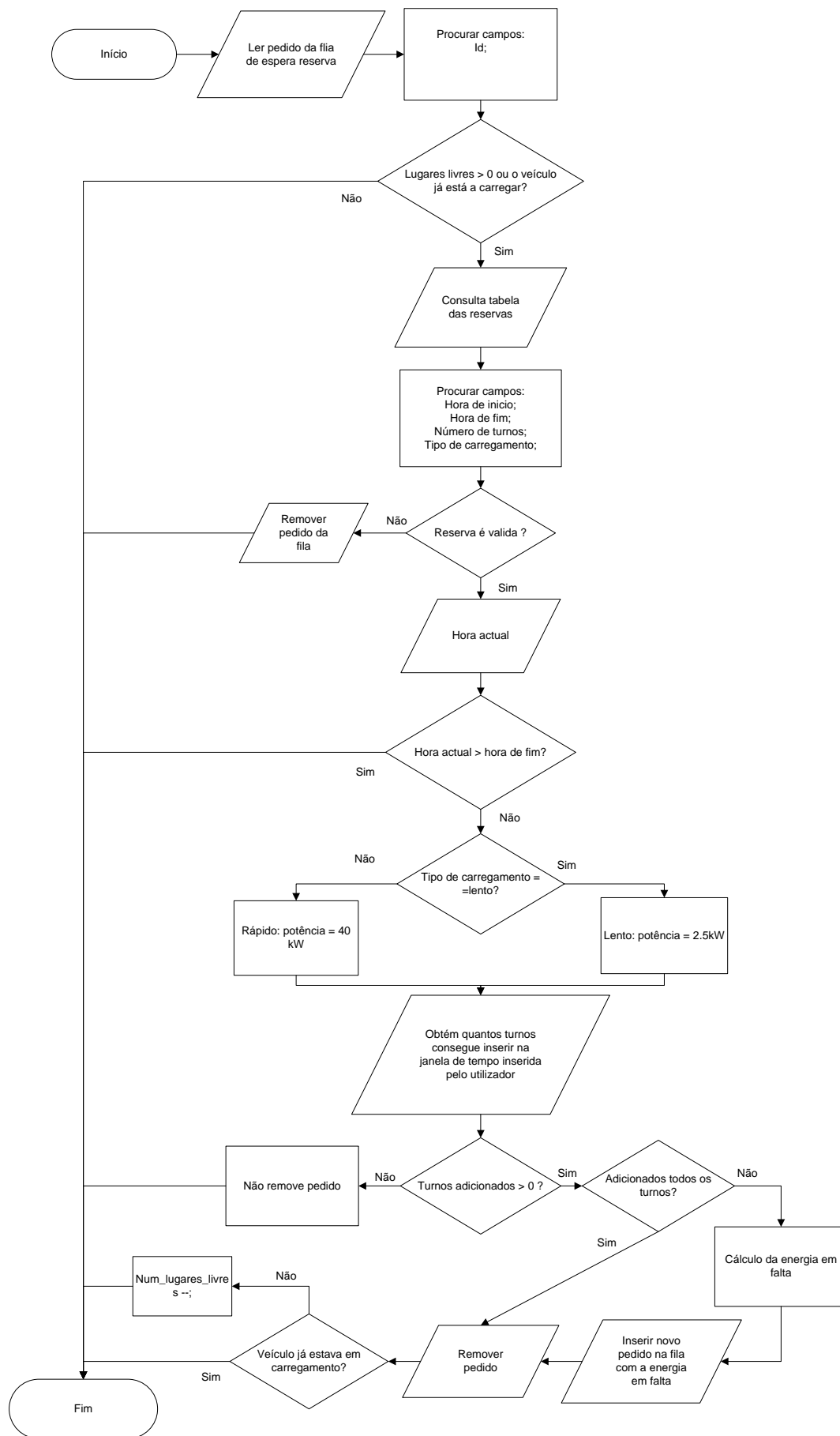


Figura 5-5 - Módulo das reservas

Pode-se observar o funcionamento do módulo das reservas; o algoritmo recebe o pedido de activação e vai confirmar com a tabela de reservas se a marcação existe, caso exista o algoritmo extrai os dados da marcação (hora de fim, hora de início, número de turnos, tipo de carregamento). De seguida o algoritmo verifica a potência pretendida pelo utilizador (40kW para carregamento rápido e 2.5kW para lento) e verifica se é possível a atribuição de todos os turnos reservados pelo utilizador. De realçar que apesar de um utilizador ter efectuado uma reserva e garantido os recursos para essa hora, podem existir condicionantes que levem à inexistência de recursos, tal como uma pontual quebra de energia ou o utilizador ter chegado depois da hora de início da reserva. Podem existir três tipos de resposta a um pedido aceite totalmente ou parcialmente e rejeitado que já foram detalhados anteriormente (secção 5.3.3.1). No caso de um pedido de reserva ter sido aceite parcialmente é lançado um pedido de reserva com a quantidade de energia em falta (na tabela das reservas) na eventualidade de existir uma libertação de recursos, e eliminado o pedido inicial. No fim o algoritmo ainda verifica se o veículo já estava em carregamento, caso não esteja é-lhe atribuído um lugar e actualizado o número de lugares disponíveis.

5.3.4.3 - Escalonamento de Premium e Normal

No caso do evento de um pedido de carregamento “Premium” ou “Normal” a primeira acção é verificar se o pedido do cliente ainda é válido. O pedido pode ter ficado na fila de espera durante algum tempo e já ter expirado; para evitar isto, é comparada a hora de saída com a hora actual. Se o pedido for válido são processados os parâmetros inseridos pelo utilizador, como tipo de carregamento (e.g., rápido, lento), quantidade de energia pretendida e o preço que está disposto a pagar por kWh. É calculado o número de turnos necessários para o carregamento do veículo (em blocos de 15 minutos) e, conforme os recursos energéticos disponíveis, o pedido é aceite ou rejeitado; tal como nos pedidos de “Reserva”, pode ser satisfeita apenas uma parte do pedido (atribuição parcial de recursos), ficando o remanescente do pedido à espera de uma possível libertação de recursos (e.g. um veículo deixa mais cedo as instalações). A diferença do processamento de pedidos Premium e Normal manifesta-se na atribuição dos recursos, mas tal será explicado em detalhe mais a frente.

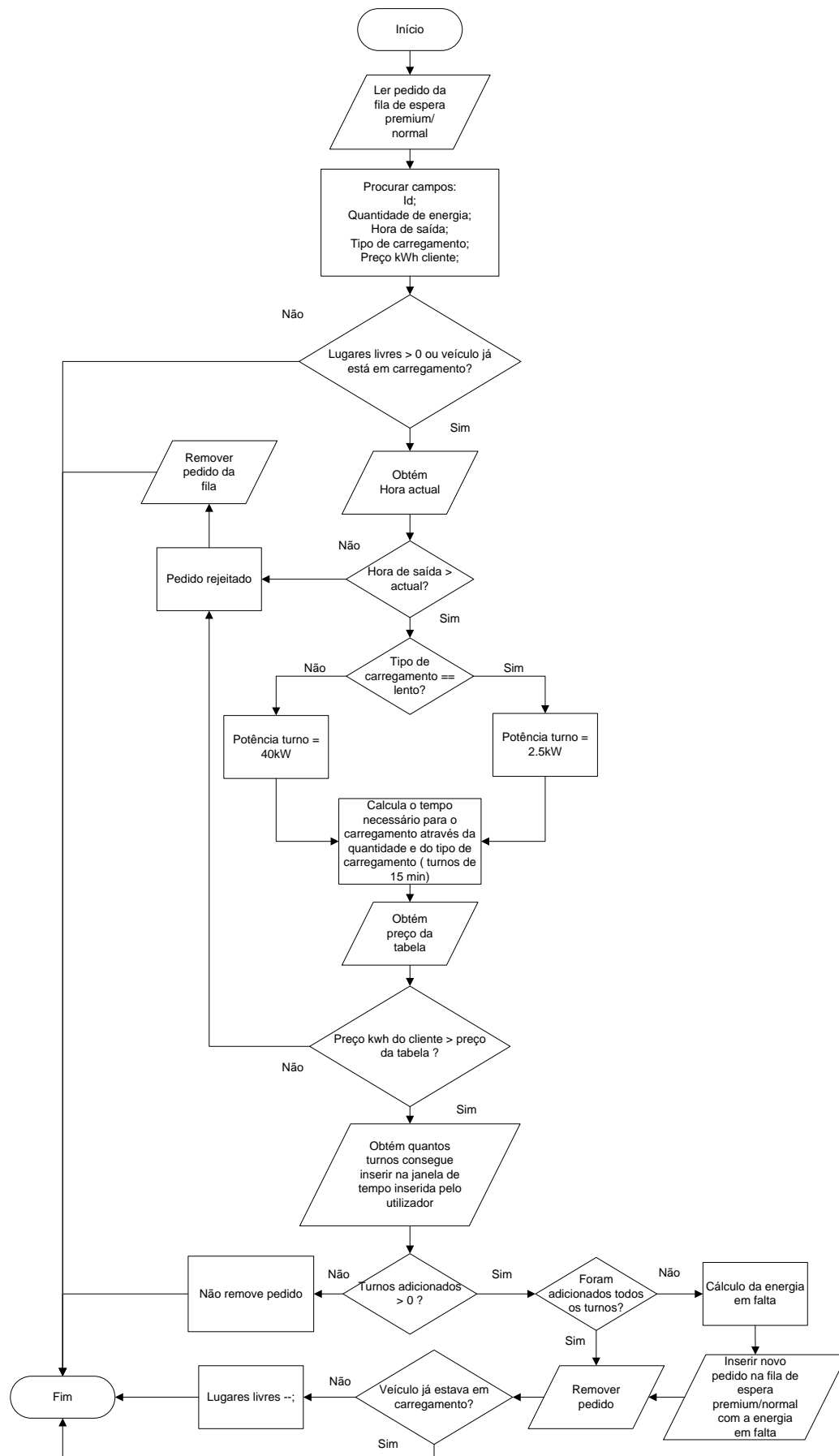


Figura 5-6 - Módulo de carregamento de um pedido Premium/Normal

Pode-se observar na figura a forma como são processados os pedidos “Premium” e “Normal”. De realçar que tal como no módulo de reservas é verificado se o veículo pretende um lugar de estacionamento ou se já lhe foi atribuído um anteriormente (e.g. o pedido inicial pode não ter sido completamente satisfeito e o utilizador pretender mais energia).

5.4 - Processamento dos dados

Nas secções anteriores foi abordado o escalonamento dos pedidos em relação às políticas, prioridades e distribuição dos mesmos. Nesta secção vai ser apresentada a forma como são processados os dados que servem de apoio ao sistema, como o cálculo do preço, atribuição de turnos, distribuição da potência, filas de pedidos pendentes.

5.4.1 - Cálculo do preço

O preço da energia eléctrica varia ao longo de um dia, dependendo das horas de ponta e vazio como também de diferentes condições climáticas nos casos que existe produção local de energias renováveis. Para contemplar estas variações o preço de cada intervalo de 15min é calculado/actualizado com base na seguinte fórmula:

$$preço = \left(quantidade\ de\ energia \frac{operador}{total} * preço\ operador \right) + \left(quantidade\ de\ energia \frac{local}{total} * preço\ local \right)$$

5.4.1.1 - Preço inicial

Este preço serve como referência para admitir um veículo no sistema; como referido anteriormente, o utilizador insere o preço máximo que está disposto a pagar por kWh. O preço inicial serve para comparar com o preço indicado pelo utilizador. Podemos observar no próximo diagrama como é calculado o preço inicial:

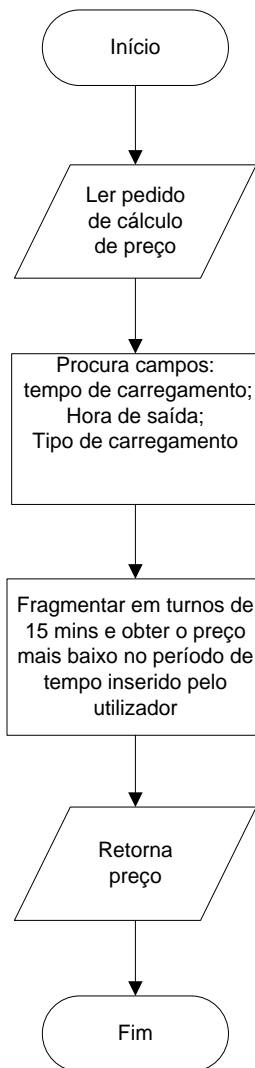


Figura 5-7 - Cálculo do preço inicial

A função retorna o preço mais baixo no intervalo de tempo e quantidades pretendidas. Isto é, o algoritmo vai satisfazer o pedido nos intervalos de tempo em que a energia é mais barata de forma a minimizar o custo médio do kWh (dentro dos parâmetros de tempo definidos pelo utilizador). De realçar que o pedido não é satisfeito nesta fase sendo apenas feita uma atribuição virtual para o cálculo do preço.

No sistema implementado o escalonamento é efectuado de forma a aproveitar os recursos eléctricos existentes que levem ao carregamento do maior número de veículos e não com vista a otimizar um escalonamento com base no preço do kWh (isto é um escalonamento que leve a atribuir aos veículos os turnos com custo mais baixo para carregamento dentro do intervalo de tempo especificado pelos utilizadores). Esta função surge como uma hipótese para um futuro escalonamento com base no preço do kWh e dos recursos eléctricos existentes, sendo que não existe garantias entre esta atribuição virtual e a real. Caso existam diferenças na atribuição o operador perde dinheiro devido ao veículo carregar em turnos com um custo superior. No entanto, esta função surge como possibilidade para uma implementação futura em que se pretenda minimizar o custo do kWh que é fornecido aos veículos. Nesta dissertação o foco foi em satisfazer o maior número de pedidos possíveis.

5.4.1.2 - Preço Final

O preço final é o preço “Real” que custa o carregamento do veículo, este é calculado quando o utilizador invoca a opção “desligar”. O sistema calcula o número de turnos que o veículo esteve a carregar e verifica o correspondente preço, apenas são contabilizados os turnos que o veículo carregou na eventualidade de o utilizador sair mais cedo do que estava agendado. De referir que o sistema apenas contempla o preço que o veículo custa ao sistema, sendo que o preço de venda ao utilizador teria de ser acrescido de uma taxa pelo uso do serviço. Podemos observar no próximo fluxograma como é calculado este preço.

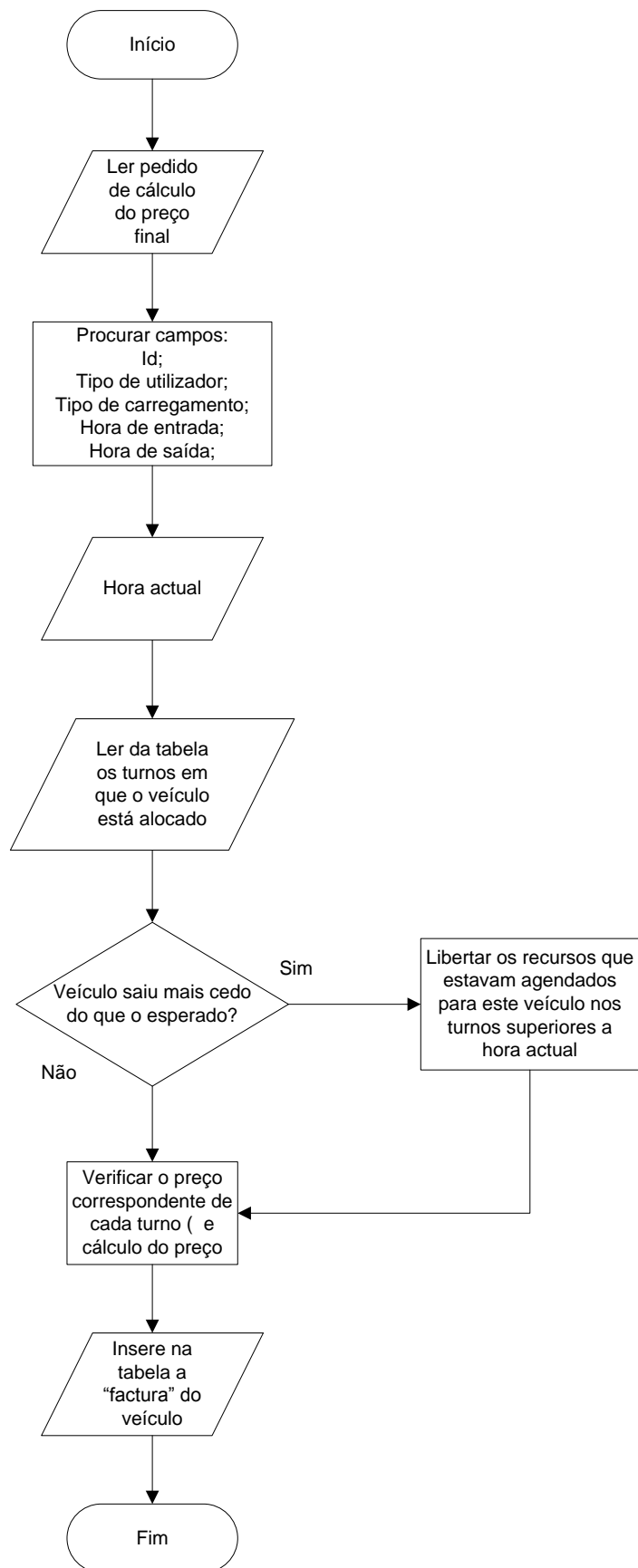


Figura 5-8 - Cálculo do preço final

Como este cálculo do preço final está associado ao “desligar” veículo o sistema verifica se existem turnos adicionais previamente agendados para este utilizador (utilizador pode ter saído mais cedo que o previsto) e, no caso positivo, liberta esses recursos para outros veículos. Apesar do veículo poder sair a qualquer altura, os recursos libertados apenas são aproveitados pelo sistema nos 15min seguintes devido à periodicidade do processo de admissão.

5.4.2 - Distribuição da Potência

Para sustentar o carregamento de veículos eléctricos é necessário que haja potência disponível para os mesmos. Desta forma pode-se distinguir a potência em três tipos. De realçar que a potência em cada momento está dividida por turnos de 15min.

5.4.2.1 - Potência Total

A potência total é o máximo que o sistema pode atingir num determinado momento. Esta potência é a soma da energia contratada à rede (e.g., EDP), da energia oriunda de fontes renováveis no local (e.g. solar, eólica) e também da energia fornecida por outros veículos dispostos a vender energia armazenada (funcionalidade a ser implementada no futuro) menos a energia consumida localmente (e.g., num edifício central). Para a elaboração deste projecto e de forma a simplificar, esta última componente de consumo local foi descartada, o que implicaria que numa implementação real essa energia fosse residual ou existissem dois contadores - um para o fornecimento de energia aos veículos e outro para o edifício central.

5.4.2.2 - Potência Utilizada

A potência utilizada é a que está a ser fornecida aos veículos num determinado momento.

5.4.2.3 - Potência Disponível

A Potência disponível é a diferença entre a energia total e a utilizada, serve como indicador de quanta energia se encontra disponível para acomodar novos pedidos de carregamento. Em algumas situações, esta potência não pode ser aproveitada na totalidade (100%) visto que o sistema tem saltos discretos de valores fixos, 2.5kW para carregamentos lentos e 40kW para rápidos.

5.4.3 - Módulo de atribuição de carregamentos

Como já foi indicado anteriormente, a energia pretendida pelos utilizadores não é atribuída no sistema de uma forma contínua, mas sim em turnos ou “*slots*” de 15min. Se a atribuição ocorresse de uma forma contínua o sistema iria ter menos flexibilidade para escalonar os pedidos quando comparado com uma atribuição com base em turnos, em que o bloco pretendido pelo utilizador é fraccionado em *slots* de 15min (caso os turnos pretendidos não derem um número inteiro é efectuado um arredondamento para o número inteiro mais próximo) e cada slot é atribuído pelo algoritmo. Desta forma consegue-se distribuir os turnos consoantes as necessidades e recursos. A atribuição de turnos vai depender do tipo de cliente (Premium, Normal, Reserva) e do tipo de carregamento pretendido (e.g., lento, rápido). O escalonamento pode ser feito em várias fases que vão ser vistas a seguir. Para uma melhor percepção é apresentado de seguida um diagrama com a primeira fase:

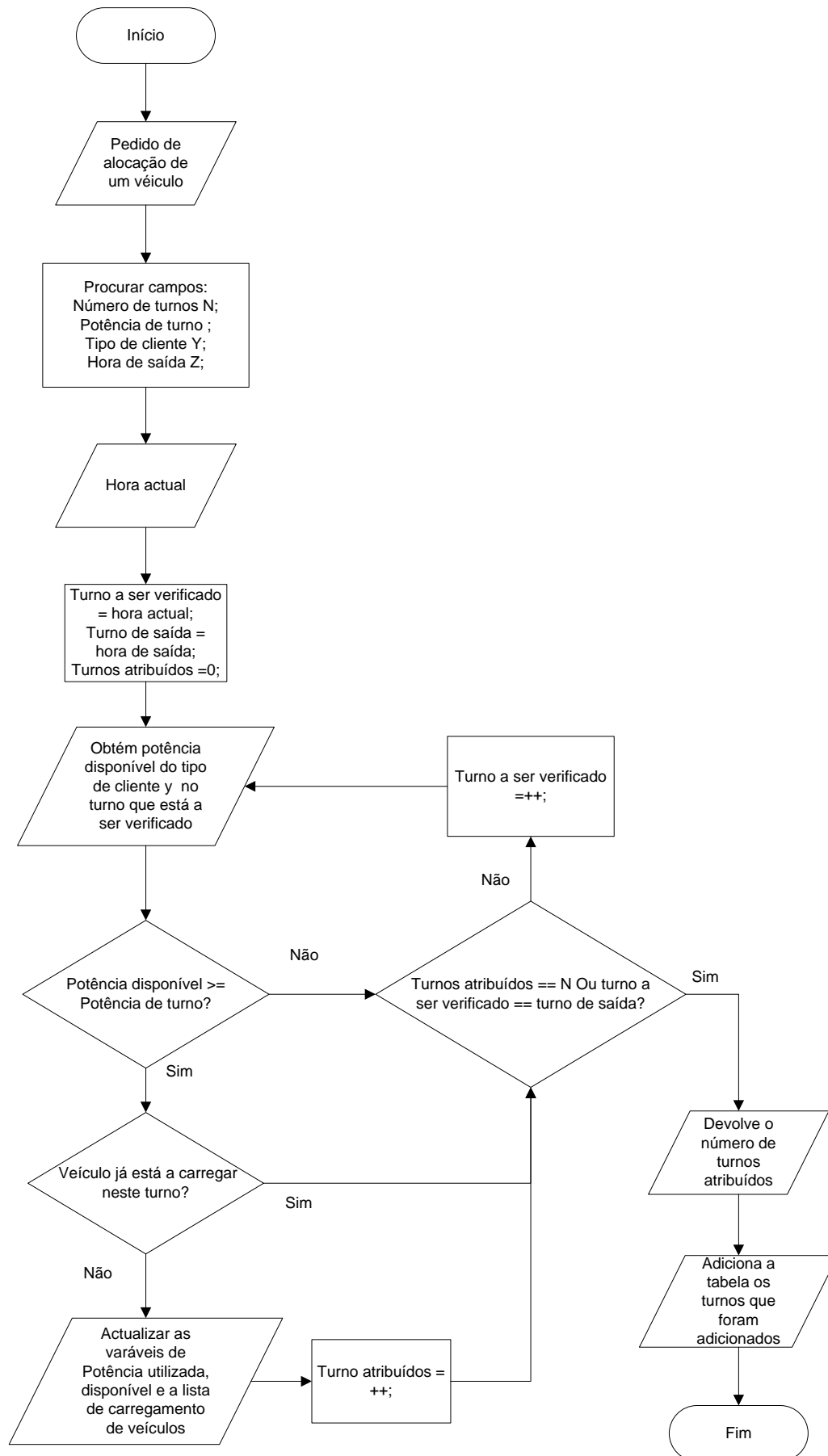


Figura 5-9 - atribuição de turnos - sem adiantar outros carregamentos

Na figura 5-9 podemos observar um pedido inicial de atribuição de “n” turnos para um cliente do tipo “y” (Premium, Normal, Reserva), carregamento do tipo rápido ou lento, e hora de saída Z. O algoritmo vai iniciar a verificação no turno actual (que corresponde à hora actual do sistema) até à hora de saída do veículo (definida pelo utilizador); caso exista potência disponível para o carregamento e o veículo não esteja já seleccionado para carregamento nesse turno, o veículo é adicionado a esse *slot* de carregamento. De realçar que a potência disponível varia consoante o tipo de cliente, devido a política implementada que impõe que Premium e o Reserva não podem, cada um, ultrapassar 15% da potência total. Contudo, nem sempre é possível atribuir todos os turnos pretendidos; neste caso, uma nova tentativa de atribuição é realizada - apresentada no próximo módulo.

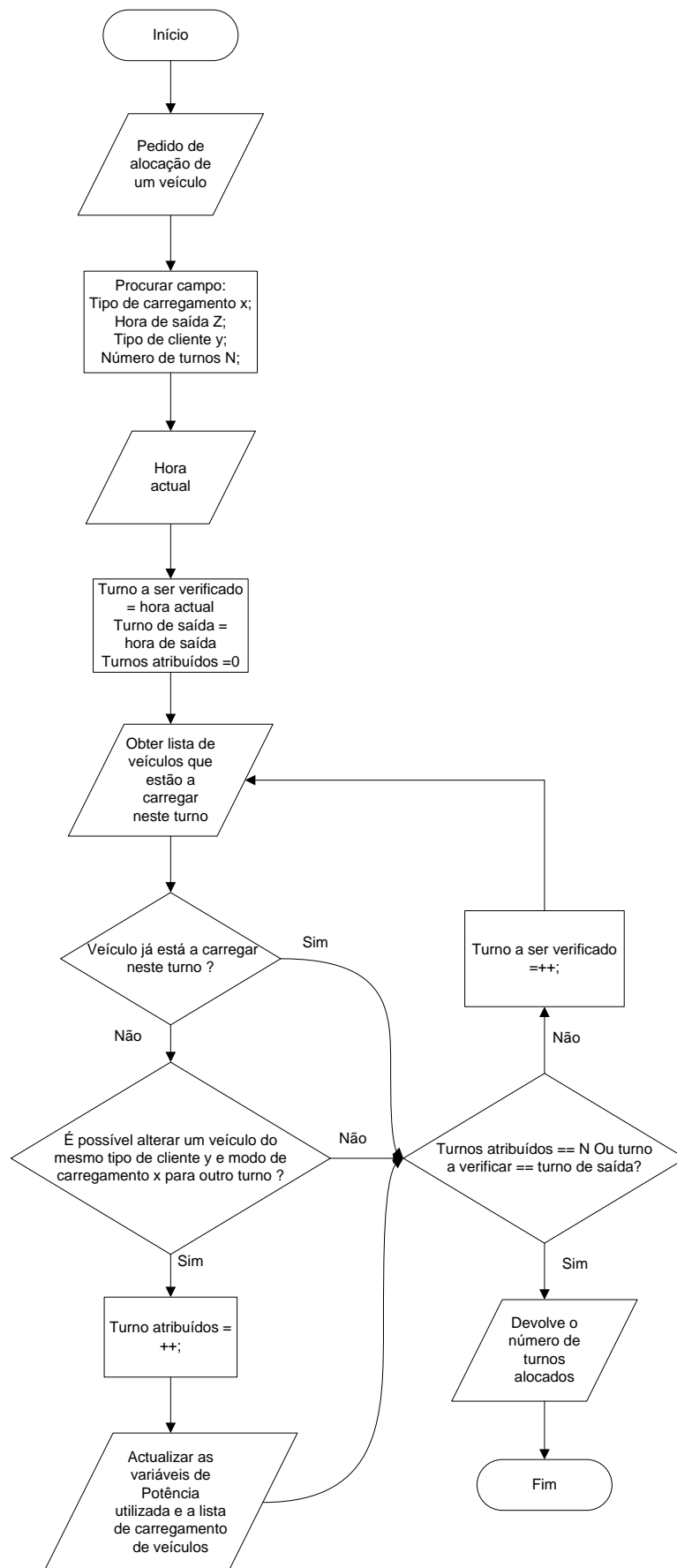


Figura 5-10 - Atribuição de turnos - adiamento do carregamento de um veículo para servir outro do mesmo tipo

Depois de terem sido atribuídos alguns ou nenhum turno no método da figura 5-9, o sistema tenta arranjar lugar para os turnos em falta de uma outra forma, isto é, tenta adiar um turno agendado de outro veículo do mesmo tipo de cliente (Reserva, Normal e Premium) e modo de carregamento (rápido, lento), de forma a ser possível servir os dois veículos. Isto acontece devido às horas de saída dos veículos presentes no sistema serem diferentes. Um pequeno exemplo da funcionalidade deste módulo é um veículo “id1” que está agendado para carregar do turno 5 ao 15 e vai deixar o sistema no turno 20 (correspondente à hora de saída do local) e um veículo “id2” que dá entrada no sistema e pretende carregar 5 turnos entre o turno 10 e o 15; este módulo possibilita que, caso não exista potência disponível para carregar o id2, seja adiado o carregamento do id1 do turno 10 ao 15 para os turnos 15 a 20 e atribuídos ao id2 os turnos 10 a 15, ficando assim ambos os veículos satisfeitos. Caso ainda existam turnos por atribuir e o tipo de carregamento seja rápido é feita uma nova tentativa que é descrita mais à frente.

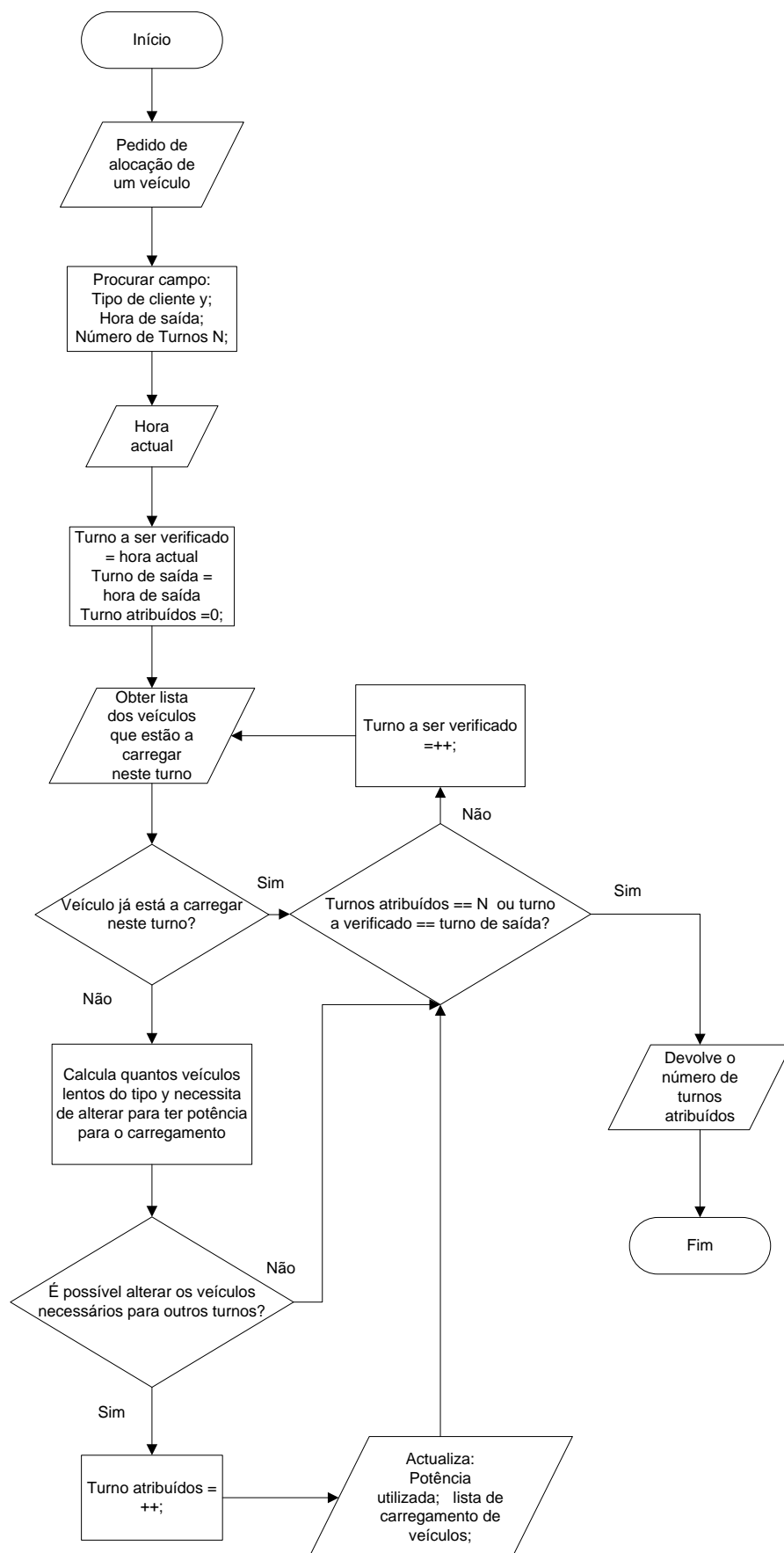


Figura 5-11 - Atribuição de turnos - adiamento de carregamentos lentos para servir um rápido

Este módulo permite adiar um ou mais veículos de carregamento lento de forma a servir um rápido (do mesmo tipo de cliente i.e., Premium, Normal ou Reserva). O algoritmo verifica quantos veículos de carregamento lento é necessário alterar num determinado turno e caso os consiga alterar na totalidade o veículo de carregamento rápido é seleccionado, sem comprometer o carregamento dos outros veículos. Caso o veículo em causa seja do tipo Premium ou Reserva uma nova tentativa de atribuir os recursos energéticos pretendidos é realizada, como se pode observar no próximo fluxograma.

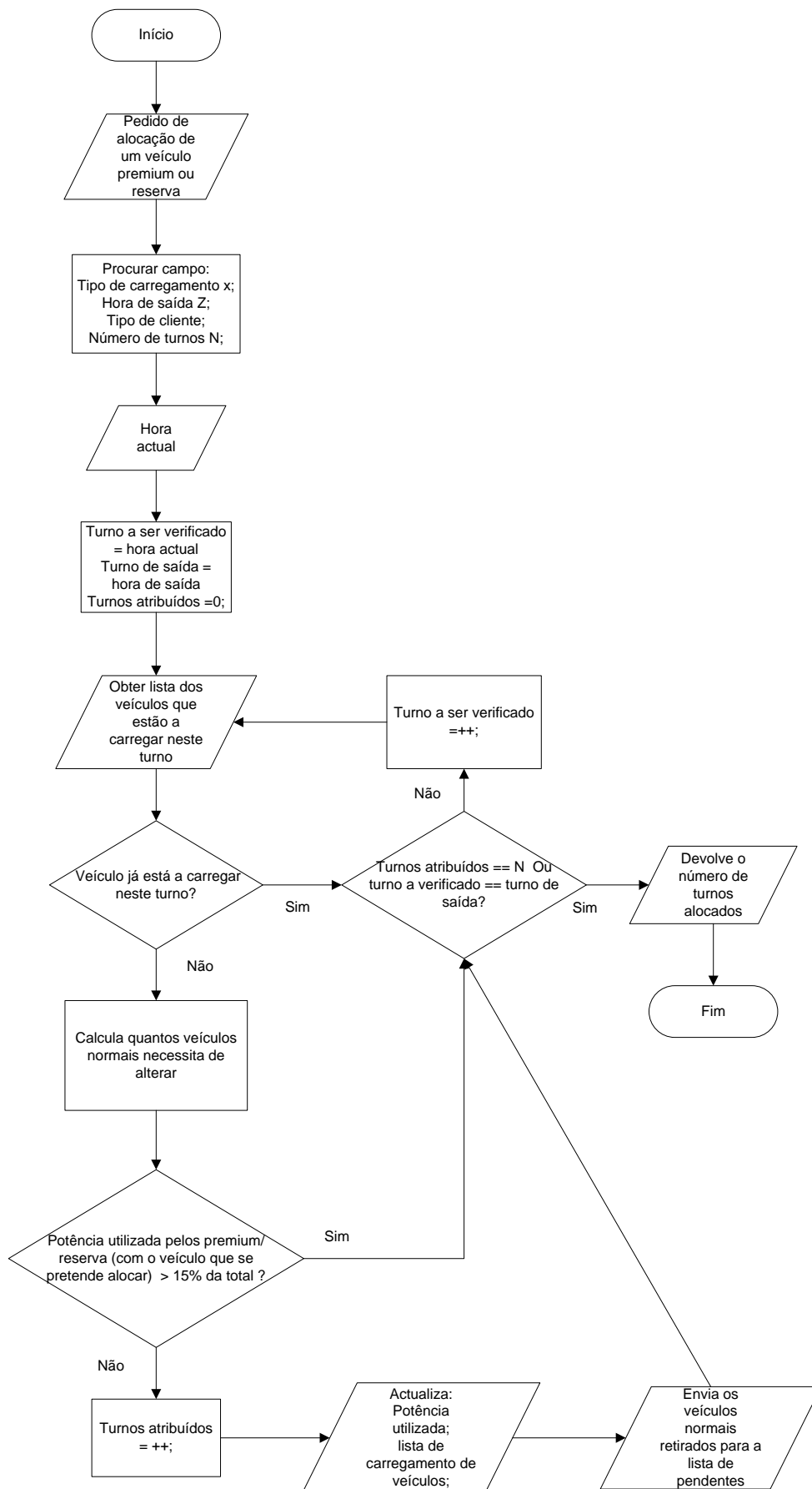


Figura 5-12 - Atribuição de turnos - suspensão de carregamentos Normais para servir Prioritários

Este módulo serve para impor as políticas e prioridades definidas, caso não exista potência disponível para servir um veículo do tipo “Premium” ou “Reserva”, são suspensos carregamentos de veículos “Normais” até atingir a potência suficiente para carregar o veículo prioritário. Contudo para evitar estagnação dos “Normais” a potência utilizada por aqueles não pode ultrapassar os 15% da total. Os pedidos “Normais” suspensos são encaminhados para a fila de pendentes.

5.4.3.1 - Módulo de marcação de reservas

Quando o sistema pretende verificar se é possível servir um veículo numa determinada hora é necessário ter uma previsão do estado em que se vai encontrar o sistema na hora que se pretende reservar. A forma como esta questão foi resolvida baseia-se num vector provisório que corresponde aos pedidos provenientes de veículos que já fizeram a marcação de reserva. O algoritmo verifica assim se é possível satisfazer o pedido de reserva através dos métodos de atribuição de turnos referenciados anteriormente (secção 5.4.3). Caso não seja possível satisfazer a totalidade do pedido, ele é aceite mas apenas com os turnos que lhe foram atribuídos.

5.4.4 - Fila de pedidos pendentes

Existem certas ocasiões em que é necessário suspender alguns veículos que estão em carregamento ou estão agendados para carregar. Isto pode acontecer devido à prioridade dos Premium/Reserva sobre os Normais como também devido a quebras pontuais de energia.

Quando uma situação destas ocorre, os turnos suspensos de cada veículo são adicionados à lista de turnos pendentes; existem três tipos de lista, uma para cada tipo de cliente. Como se pode observar na figura 5-2 cada fila de turnos pendentes tem a sua respectiva prioridade perante o escalonador; os veículos que estão na fila de pendentes têm prioridade sobre os veículos “novos” que dão entrada no sistema uma vez que o sistema já se tinha “comprometido” com eles. O algoritmo vai verificar que veículos estão pendentes e quantos turnos estão suspensos em cada um de forma a tentar servi-los, tendo em conta a hora saída dos mesmos e o tipo de carregamento (rápido ou lento). Se conseguir atribuir todos os turnos o pedido pendente é removido, no caso de apenas ser possível servir uma parte o pedido pendente é actualizado.

5.5 - Situações críticas

Existem certas situações inesperadas às quais o sistema deve estar preparado para dar resposta; uma delas é uma falha de energia.

5.5.1 - Quebra de energia

Quando existe uma quebra de energia é necessário suspender carregamentos até o sistema ficar estabilizado. Os veículos “Normais” devido à sua baixa prioridade são os primeiros a sofrer possíveis alterações e, caso tal não seja suficiente seguem-se os “Premium” e finalmente os “Reserva”. Para uma melhor percepção será apresentada de seguida um diagrama.

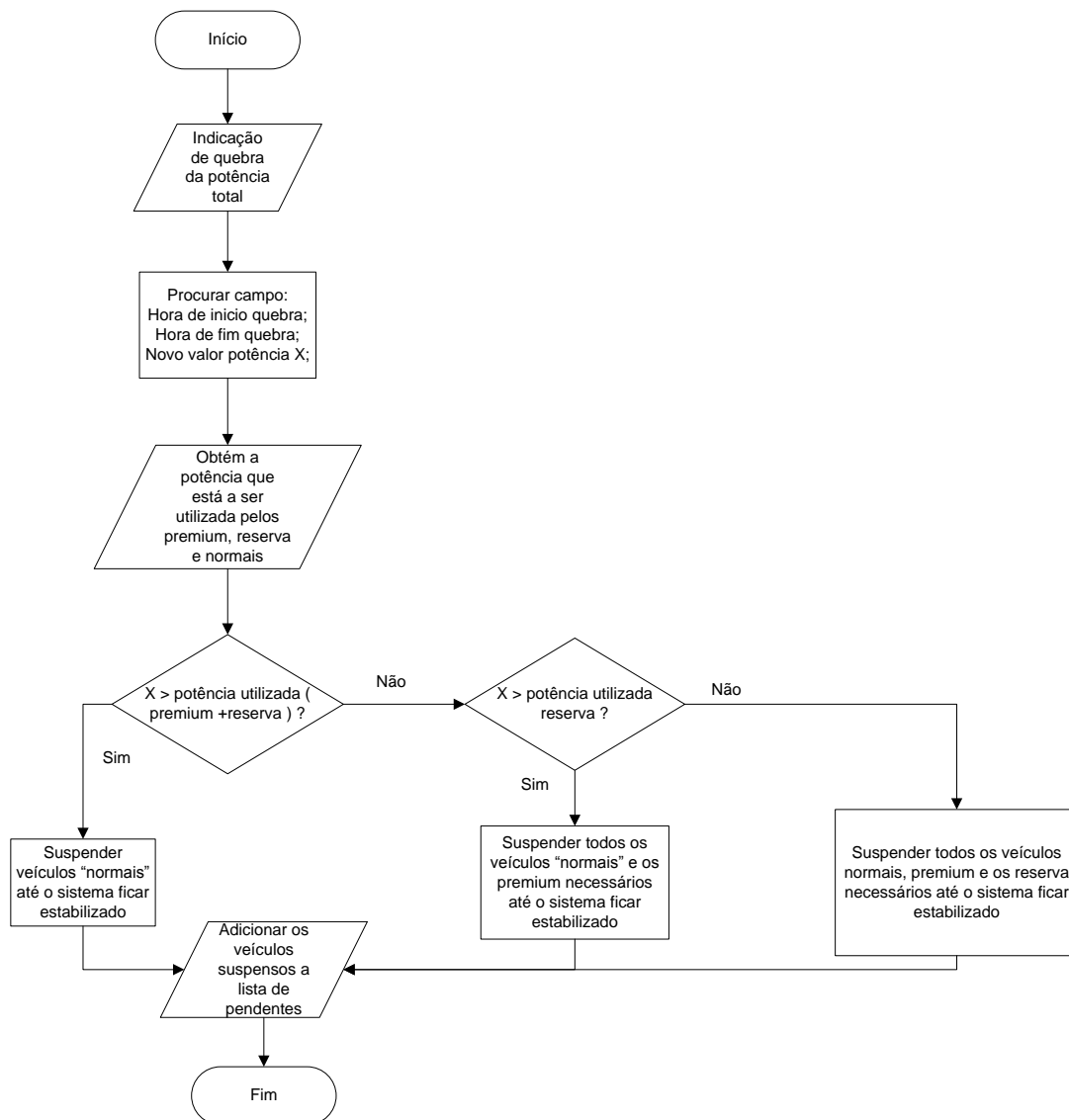


Figura 5-13 - Quebra de energia

Como se pode visualizar no diagrama apresentado os veículos com Reserva e Premium têm prioridade em relação aos Normais; isto significa que numa quebra de energia os primeiros a serem suspensos são os Normais, seguidos dos Premium e por fim os que têm Reserva. De referir que este módulo só interfere no intervalo de tempo que dura a falha, os pedidos já previamente atribuídos nas horas posteriores à quebra não são alterados. Contudo o sistema depois de estar estabilizado a nível energético vai tentar satisfazer os pedidos que foram afectados e ficaram pendentes, podendo ser necessário deslocar alguns turnos que tenham hora de saída mais tardia de forma a satisfazer o máximo de pedidos possível. Este processo já foi analisado anteriormente na atribuição de turnos.

5.6 - Venda de Energia

Uma das funcionalidades deste sistema de gestão é a possibilidade de os clientes venderem energia à rede. Esse “excesso” de energia pode advir de um carregamento feito em casa durante a noite e aproveitando um preço baixo (e.g., aproveitando a produção de energia eólica ou outro). Além de obterem um potencial lucro estão também a ajudar o

sistema nas horas de maior consumo. De realçar que o módulo foi pensado para descarregamentos lentos, tomando como valor base os 2.5kW dos carregamentos lentos. Podemos observar um diagrama a explicar o funcionamento.

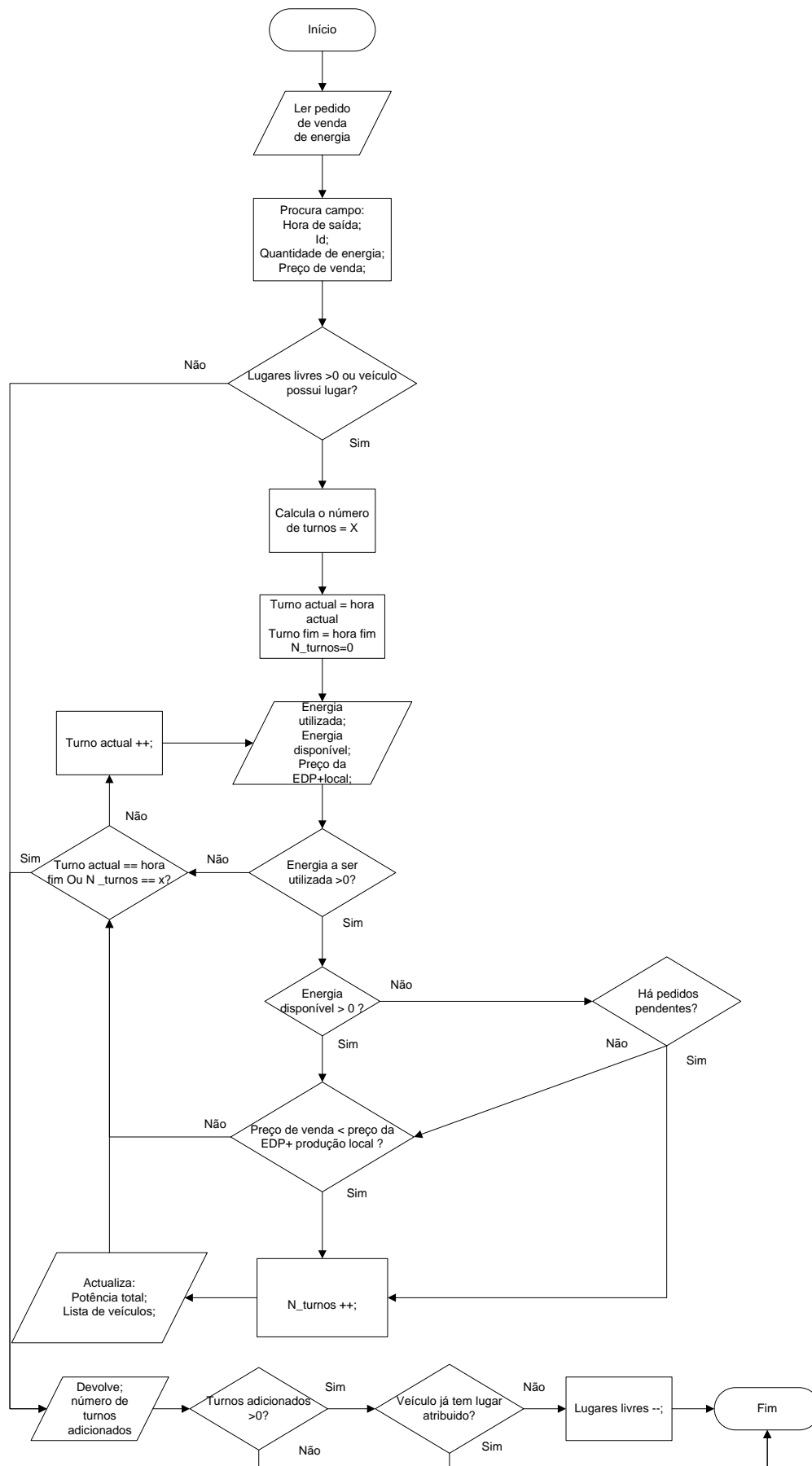


Figura 5-14 - Módulo venda de energia por parte de um veículo

O funcionamento geral é igual ao dos outros módulos; é calculado o número de turnos em que o veículo pretende fornecer energia à rede e verificada a hora de saída. Quando um pedido para vender energia é feito, o utilizador além de indicar a quantidade de energia tem de indicar o preço mínimo de venda por kWh. Com estes dados o algoritmo vai verificar se está a ser consumida energia por parte de outros veículos para salvaguardar uma eventualidade de nenhum veículo estar em carregamento, caso não haja veículos em carregamento não é necessário o sistema comprar energia. De seguida o sistema verifica se a potência disponível é superior a 0 ou também pode ser atribuído o valor de 2.5kW que é o mínimo para carregar um veículo, caso contrário significa que não há potência disponível e o sistema está em sobrecarga (não tem potência disponível para satisfazer mais pedidos dos que os que estão atribuídos), logo o algoritmo vai verificar se existem pedidos pendentes casos existam o pedido de venda é aceite. No caso de haver energia disponível suficiente, é verificado se o preço oferecido pelo utilizador que quer vender energia é inferior ao preço do operador contratado e da energia produzida localmente. Desta forma consegue-se minimizar o preço por kWh do sistema global. De realçar que na implementação prática este módulo não foi implementado, ficando para trabalho futuro.

5.7 - Compra e venda de energia

Uma das funcionalidades que um sistema pode conter além de comprar ou vender energia, é o utilizador poder comprar e vender energia aproveitando a variação do preço ao longo do dia. Desta forma os clientes podem tirar partido da variação do preço, comprando a energia ao preço mais baixo nas horas de vazio e vendendo ao sistema nas horas de ponta, retirando contrapartidas financeiras. Uma das hipóteses é através de um sistema de leilões para as horas de maior escassez.

O sistema pode servir de intermediário entre um cliente que pretende vender energia e um cliente que pretende comprar. Os leilões podem ser abertos ou fechados [41] e com ou sem preço de reserva. No caso de um sistema deste tipo com um leilão aberto os utilizadores que pretendem comprar a energia que um utilizador tem para vender, vão licitando durante um determinado tempo, quem tiver o lance mais alto quando o tempo terminar é o vencedor. No caso de um sistema de leilão fechado, todos os utilizadores que pretendem participar indicam o valor que estão dispostos a pagar e o que tiver o valor mais alto é o vencedor. Além disso os clientes que pretendem vender podem inserir um preço de reserva que é o valor mínimo de participação no leilão.

O intuito deste tipo de implementação através de um método de leilão, em casos em que a rede não tem potência disponível para fornecer, permitir aos veículos venderem energia entre si, tirando o sistema proveito através de uma comissão.

De seguida vai ser demonstrado umas das hipóteses para um módulo de compra e venda de energia por parte de um utilizador.

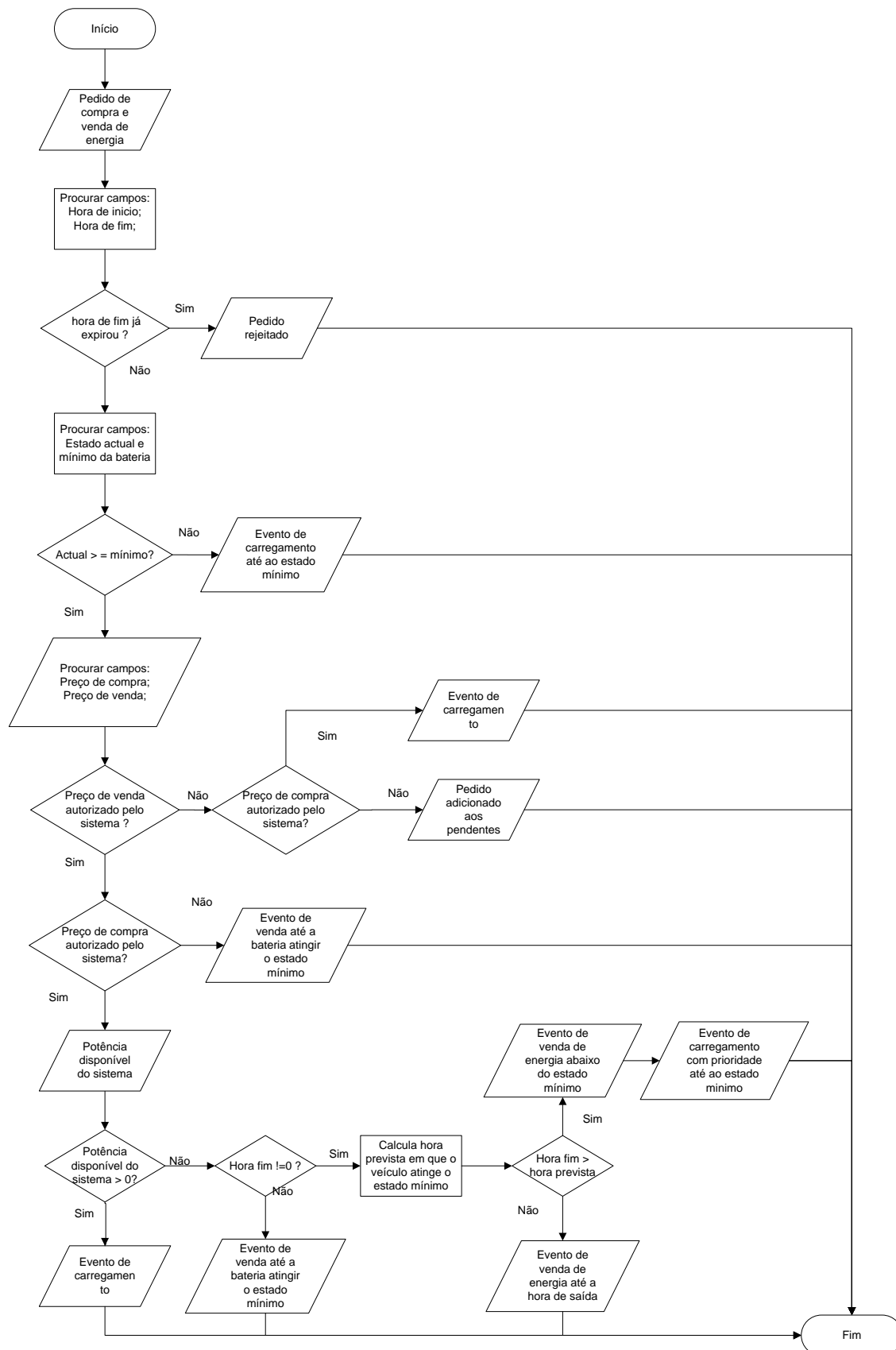


Figura 5-15 - Módulo de compra e venda

O módulo apresentado permite aos utilizadores indicarem o valor máximo que estão dispostos a aceitar para comprar energia ao sistema e o valor mínimo pelo qual pretendem vender energia. Como medida de precaução é aconselhado a indicação do estado/quantidade

mínimo de energia desejada para a bateria de forma a não ficarem apeados. Com base nesta informação, a primeira acção do sistema, para além de verificar se a hora de saída já expirou como nos outros módulos já apresentados, é verificar se o estado actual da bateria é superior ao mínimo indicado. Caso o estado mínimo seja superior ao actual é lançado um evento de carregamento do veículo até ao estado mínimo; quando este carregamento acabar o pedido volta a dar entrada neste módulo para ser avaliado. Caso o estado actual da bateria seja superior, o algoritmo vai comparar o preço de venda e de compra do utilizador com os do sistema. No caso de nenhum dos preços se adequar ao sistema o pedido é enviado para a lista de pendentes. No caso de ambos os preços se ajustarem, o sistema vai verificar se existe potência disponível; neste caso dependendo da política pode-se tomar um valor padrão neste caso é 0 kW mas pode ser tomado um valor de segurança de 10% ou 20% da potência total por exemplo. Se existir potência disponível é lançado um evento de carregamento do veículo. No caso de não haver potência, é necessário que o veículo forneça energia de forma a poder carregar outros veículos. Desta forma o sistema vai verificar se a hora prevista em que o veículo atinge o estado mínimo é anterior ou posterior à hora de saída. Caso seja posterior é lançado o evento de venda de energia até à hora de saída. Já se a hora prevista for anterior à hora de saída o veículo pode descarregar até abaixo do valor mínimo; contudo, o sistema necessita de garantir uma vaga para carregamento do veículo até ao valor mínimo antes da hora de saída. De realçar que este módulo devido à curta duração desta dissertação não foi simulado e para se adaptar à simulação implementada era necessário ainda adaptá-lo ao sistema de turnos.

5.7.1 - Preço de compra de energia por parte do sistema

Para a implementação dos módulos de venda e de compra e venda de energia é necessário que o sistema de gestão indique o valor pelo qual está disposto a comprar energia aos veículos. Consoante isto o preço pode variar conforme as necessidades do sistema, o cálculo do preço deve ter em atenção a percentagem de energia que está a ser fornecida por cada interveniente (e.g., operador contratado (EDP) e energia renováveis presentes no local).

$$\text{Preço de compra} = \left(\text{energia utilizada} \frac{EDP}{Total} \right) * (\text{preço EDP}) + \left(\text{energia utilizada} \frac{local}{Total} \right) * (\text{preço local})$$

Desta forma o sistema consegue obter em qualquer momento o preço que lhe está a custar cada kWh que está a ser fornecido aos veículos que estão em carregamento; o preço para compra de energia pelo sistema aos utilizadores/veículos deve ser inferior a este para maximizar o lucro. No caso de não haver Potência disponível no sistema de forma a poder satisfazer mais pedidos, é dada indicação que este está numa “situação crítica”; neste caso o preço que o sistema está disposto a comprar energia aos veículos fica dependente do preço que os veículos que pretendem comprar estejam dispostos a pagar podendo ser implementada uma técnica de leilões como a que já foi abordada anteriormente.

5.8 - Políticas implementadas

Como já foi referido anteriormente, um sistema de gestão de carregamento de veículos eléctricos é um modelo de negócio e a sua implementação depende do local e do tipo de

clientes que se pretende abranger. Como tal é necessário referir as políticas que foram adoptadas para realizar as simulações. Estas foram:

O cliente só é autorizado no lugar de estacionamento caso o pedido de carregamento seja aceite, no caso do pedido ser rejeitado o cliente não pode ocupar o lugar.

O sistema, caso não consiga satisfazer a totalidade de um pedido, aceita esse pedido de uma forma parcial, sendo inserido na correspondente fila de entrada, um novo pedido com a energia em “falta”.

Os veículos “Normais” podem abranger a totalidade da potência disponível, caso não existam veículos de outro tipo, enquanto os Premium e Reserva estão limitados a 15%.

Caso o sistema rejeite um veículo Premium ou Reserva, pelo facto de estes estarem no máximo da sua capacidade, cabe ao utilizador decidir se quer formular um novo pedido como veículo “normal”. O sistema, nesta fase de desenvolvimento, limita-se a rejeitar o pedido.

O veículo só liberta o lugar ocupado quando o utilizador invocar o pedido “desligar”.

5.9 - Simulação

Pretende-se simular um algoritmo capaz de efectuar uma gestão inteligente de um sistema de carregamento de veículos eléctricos, que permita optimizar o uso dos recursos disponíveis (energia, lugares) e que actua em prol das definições e políticas implementados pelo administrador (e.g. veículos prioritários, etc.). De forma a atingir este objectivo, a simulação deve contemplar as funcionalidades necessárias de um sistema real deste tipo (e.g. carregamentos, identificação de cliente, indicar hora de saída, etc.), num sistema com múltiplos veículos.

Com este objectivo em mente vão ser apresentadas de seguida algumas opções que foram tomadas para desenvolver a implementação e simulação do algoritmo apresentado nas secções anteriores.

5.9.1 - Simulação por eventos

Uma simulação por eventos é caracterizada pelo facto de o tempo da simulação ser descontínuo, isto significa que o tempo avança de evento em evento, de acordo com o instante de ocorrência do próximo evento. Por outro lado as simulações em tempo real caracterizam-se por não dependerem apenas da operação lógica mas também do tempo em que a mesma é efectuada.

Para o objectivo deste projecto, as simulações por eventos discretos são as mais adequadas na medida em que existem “longos” períodos de tempo no sistema sem actividade (e.g., durante os carregamentos dos veículos). A partir de uma simulação por eventos é possível simular uma estação de carregamento ao longo de vários dias e recolher os dados para verificação do funcionamento do algoritmo.

5.9.2 - Plataformas de simulação

Nesta secção vão ser apresentadas as plataformas/linguagens de programação usadas para a programação do algoritmo, bem como algumas soluções que chegaram a ser equacionadas.

5.9.2.1 - NS2/NS3

O NS2 [42] é um simulador de eventos discretos orientado para as comunicações. Suporta simulações TCP, *routing*, protocolos *multicast* para redes cabladas e sem-fios. O NS3 [43] por

sua vez pretende substituir o NS2 mas devido ao NS3 ainda ser um software recente não contempla alguns módulos/protocolos que são possíveis de simular no NS2 (e.g. homeplug, UMTS)[42-43].

Contudo devido ao foco da dissertação não ser as comunicações e devido ao *overhead* de aprendizagem destes simuladores e a curta duração desta dissertação, estas opções foram descartadas.

5.9.2.2 - JAVA

Para efectuar a simulação por eventos foi escolhida a linguagem JAVA [44], que é uma linguagem orientada a objectos. O JAVA tem a vantagem de ser uma linguagem que para além de habilitar a simulação por eventos, permite também futuramente alterar o algoritmo para uma aplicação real realizando as devidas alterações, e.g., através do uso de *sockets* TCP- e implementação de uma interface gráfica para os utilizadores definirem os seus parâmetros, entre outros.

5.9.2.3 - Eclipse

Eclipse [45] é uma aplicação de Ambiente Integrado de Desenvolvimento desenvolvida em Java, que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software. Sendo o eclipse a aplicação mais utilizada no mundo para Java e tendo já conhecimento prévio, foi a escolhida para a simulação.

5.10 - Conclusão

Este capítulo apresentou a arquitectura e os módulos do sistema que foram implementados no decorrer desta dissertação. Quer a arquitectura quer o desenvolvimento dos módulos foi realizado tendo em conta os objectivos de otimizar os recursos energéticos, aproveitar energias renováveis produzidas localmente, permitir marcação de reservas, suportar diferentes tipos de clientes (Premium, Reserva, Normal), diferentes modos de carregamento (lento, rápido) e permitir ao utilizador definir parâmetros como hora de saída, quantidade de energia pretendida, preço máximo disposto a pagar por kWh, entre outros.

O próximo capítulo apresenta os testes e resultados obtidos através da implementação em JAVA do algoritmo descrito neste capítulo.

Capítulo 6

Testes e resultados

Neste capítulo vai ser apresentado numa fase inicial os cenários de teste que se pretendem simular de forma a validar o algoritmo e numa fase posterior são apresentados os resultados obtidos e a respectiva análise.

6.1 - Cenários de Teste

Nesta secção vão ser apresentados cenários de teste que permitem validar o algoritmo implementado em Java. Os testes vão ser divididos em três tipos: pequenos testes a cada módulo implementado, testes gerais com diferentes pedidos mas com a geração dos mesmos feitos de uma forma controlada e por fim testes gerais a partir de pedidos originados de forma aleatória, com base numa distribuição de Poisson.

6.1.1 - Testes aos módulos implementados

Nesta secção vão ser apresentados os diferentes cenários que vão ser simulados de forma a testar os módulos implementados.

6.1.1.1 - Ordenação da fila de espera de veículos “Normais”

Neste cenário de teste pretende-se verificar a ordenação feita na fila de espera dos veículos “Normais” com base no índice de lucro. Isto é, pretende-se verificar que os pedidos são servidos por ordem decrescente de lucro que trazem para o sistema.

6.1.1.2 - Reserva

O objectivo deste cenário é testar a opção de um utilizador fazer marcação de uma reserva. Pretende-se testar reservas com menos de 4h de antecedência (que devem ser rejeitadas) e com mais de 4h. Também se quer simular a resposta do sistema a um pedido de carregamento com estatuto de Reserva de um veículo que tenha efectuado a reserva previamente comparando com outro que não o tenha.

6.1.1.3 - Premium

Com este cenário pretende-se testar a política de prioridade aplicada aos “Premium” em relação aos veículos “Normais”.

6.1.1.4 - Potência do operador contratado e das energias renováveis

Pretende-se verificar a flutuação da potência disponível ao longo de um dia e as alterações provocadas pela produção das energias renováveis.

6.1.1.5 - Escalonamento do algoritmo

Nestes testes pretendem-se testar os módulos de atribuição de turnos.

6.1.1.5.1 - Escalonamento de um veículo de carregamento rápido

O objectivo deste cenário é testar o escalonamento feito pelo algoritmo numa situação em que dá entrada um pedido de carregamento rápido e não há energia disponível para o mesmo (devido a estar a ser usada em outros carregamentos). Pretende-se verificar se o algoritmo é capaz de adiar alguns carregamentos lentos de forma a poder servir o pedido.

6.1.1.5.2 - Escalonamento após a invocação de “desligar” veículos

Com este cenário pretende-se observar o comportamento do sistema após a invocação de “desligar” por parte dos clientes e verificar o aproveitamento dos recursos libertados por outros veículos.

6.1.2 - Testes gerais com pedidos controlados

Nesta secção pretende-se observar o comportamento geral do sistema através de uma simulação com pedidos gerados de uma forma controlada.

6.1.2.1 - Situação sem sobrecarga

Neste cenário inicial pretende-se observar uma situação de carregamento de diversos veículos ao longo de um dia e verificar a distribuição, sem sobrecarga de energia.

6.1.2.2 - Situação com sobrecarga em horas de ponta

O objectivo deste cenário é sobrecarregar o sistema com pedidos de carregamento para que a potência pretendida pelos utilizadores seja superior a potência máxima disponível no sistema. Pretende-se observar que o sistema consegue escalonar os pedidos. De forma a ocupar o sistema até ao limite (não sendo capaz de servir os restantes).

6.1.2.3 - Situação com quebra de energia

Nestes testes pretende-se simular diferentes falhas de energia e analisar a resposta do sistema.

6.1.2.3.1 - Quebra de energia que só influencie os veículos “Normais”

Com este teste, o objectivo é verificar a resposta do sistema a uma situação de uma quebra inesperada de energia que influencie apenas os veículos “Normais” e verificar que os veículos “Premium” e “Reserva” não são afectados.

6.1.2.3.2 - Quebra de energia que influencie os veículos “Normais” e os “Premium”

Neste teste o objectivo é simular uma quebra de energia que afecte os veículos “Normais” e “Premium”

6.1.2.3.3 - Quebra de energia que influencie todos os veículos

O objectivo deste teste é simular uma situação extrema em que todos os veículos sejam afectados. É de esperar que apenas alguns veículos com “Reserva” se encontrem em carregamento sendo os restantes suspensos.

6.1.3 - Testes gerais com pedidos aleatórios

Para efectuar estes testes aleatórios foi usada uma distribuição de Poisson [46], que é uma distribuição de probabilidade discreta que expressa a probabilidade de um certo número de eventos ocorrerem num determinado intervalo de tempo, caso estes ocorram com uma taxa média conhecida.

O tempo médio de permanência de um veículo é 8h para um carregamento lento e 30min para um carregamento rápido. Estes valores permitem carregar as baterias de um veículo com 20 kWh. A energia requerida pelos veículos é obtida através do cálculo do tipo de carregamento e do tempo de carregamento. O tempo de carregamento é obtido aleatoriamente a partir do intervalo de 50% a 100% do tempo de permanência do veículo. A simulação foi efectuada com diferentes taxas de chegada de veículos que se podem observar em cada teste, foram adicionados veículos das 07h as 19h, contudo pela introdução de alguma “aleatoriedade” no sistema, a hora de saída de alguns veículos ultrapassa as 19h.

Tabela 6.1 - Taxa de chegada de veículos

Horas:	Número de veículos Que chegam por hora
07h-08h	4
08h-09h	43
09h-10h	50
10h-11h	15
11h-12h	1
12h-13h	12
13h-14h	7
14h-15h	1
15h-16h	2
16h-17h	6
17h-18h	6
18h-19h	1

Na tabela podemos observar os valores usados como base na taxa de chegada de veículos. Para se obter um teste mais realista os valores usados foram adoptados segundo a taxa de chegada do parque P3 da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto do dia 1 de Fevereiro, valores fornecidos pela “SIGARRA”. Contudo devido ao largo número de veículos que alberga o parque usou-se como base apenas 1/3 dos números de veículos que chegam por hora, esta taxa pode ser observada na tabela (6.1). A taxa real de entrada de veículos do parque P3 pode ser observada no anexo 1.

Em relação a distribuição dos pedidos por Premium, Normal, Reserva, foram distribuídos de uma forma homogénea, com 5% dos pedidos a serem Reservas, 10% serem Premium e os restantes pedidos Normais. Contudo no teste da secção 6.1.3.4 são usados outros valores, de forma a perceber-se o impacto da variação destes parâmetros. Os tipos de carregamento foram distribuídos por 5% rápidos e 95% lentos, de forma a observar-se o impacto no sistema de os veículos não saírem a hora indicada; 5% dos veículos abandonam as instalações antes da

hora prevista (indicada pelos utilizadores) e 5% depois da hora prevista, todas estas variáveis foram distribuídas de uma forma homogénea. De realçar que para estes testes, os pedidos parciais ou rejeitados são removidos da fila, não sendo acrescentado pedidos com a energia em “falta”. Isto deve-se ao facto de a política de os pedidos não serem removidos (quando são rejeitados) e de ser adicionado um pedido com a energia em falta (no caso de serem aceites parcialmente) possuir interesse para implementações onde os veículos vendam energia, provocando flutuações na potência, o que não é o caso destes testes. De forma a se conseguir recolher dados estatísticos sobre pedidos rejeitados, aceites parcialmente e totalmente usou-se esta configuração.

Para os testes, a potência usada vinda da rede (e.g., EDP) foi 270 kW e das energias renováveis 90 kWh distribuído por seis horas. Os 90 kWh correspondem a produção média diária de energia solar na cidade do porto com 100m² de painéis fotovoltaicos, este valor é variável dependendo sempre do aproveitamento dos painéis instalados. Foi calculado através de uma calculadora online para a cidade do Porto [47], o cálculo pode ser observado no anexo 2. A potência de 270kW advém da potência contratada pela faculdade de engenharia ser de 1488kW e estando a carga máxima da faculdade nos 80% sobram 20% que podem ser aproveitados para o carregamento de veículos eléctricos (300kW), segundo dados dos serviços técnicos de manutenção da faculdade (STM). Contudo de forma a deixar ainda alguma margem e não sobrecarregar o sistema foi usado 90% dessa capacidade em sobra (i.e., 270kW). O número de lugares disponíveis nesta simulação foram arbitrados entre 120 lugares e 150 lugares - visto serem necessários 114 veículos em carregamento lento para alcançar os 270kW.

6.1.3.1 - Testes com parâmetros aleatórios

O objectivo deste teste é observar o comportamento do algoritmo numa situação em que os pedidos são feitos de uma forma aleatória e com a existência de uma limitação de 120 veículos, o que torna interessante o teste devido a serem necessários 114 veículos em carregamento lento para alcançar a potência máxima de 270kW. Para este teste a taxa de chegadas de veículos (tabela 6.1) será multiplicada por “2” de forma a obter-se uma situação com uma ligeira sobrecarga. Pretende-se observar quantos veículos são aceites, rejeitados, e qual o grau de satisfação das necessidades energéticas provenientes dos pedidos de carregamento.

6.1.3.2 - Teste aleatório com quebra de energia

Neste teste pretende-se observar a política de prioridades implementada. Para isso vai ser simulada uma quebra de energia entre as 16h30 e as 17h30 para uma potência máxima disponível de 100 kW em vez dos 270 kW habituais.

6.1.3.3 - Teste aleatório com sobrecarga

Com este teste pretende-se verificar o sistema com uma sobrecarga na taxa de chegada de veículos (mais 25%), o que implica a multiplicar a taxa de chegada (tabela 6.1) por “2.5” e ver como o sistema se comporta. De realçar que os 25% que se pretendem adicionar é relativo ao cenário de teste anterior (secção 6.1.3.1).

6.1.3.4 - Teste aleatório com sobrecarga de pedidos do tipo Premium e Reserva

Neste teste pretende-se aumentar a percentagem de veículos Premium e Reserva que chegam ao sistema, mantendo a sobrecarga de 25%.

6.2 - Resultados e testes

Nesta secção vão ser apresentados os resultados obtidos através da simulação dos cenários de testes descritos na secção 6.1.

6.2.1 - Testes aos módulos implementados

Para uma compreensão mais objectiva dos próximos cenários, vão ser descritas de seguida algumas das expressões usadas:

Potência consumida - Potência que está a ser fornecida aos veículos pelo sistema

Potência disponível - Potência disponível que existe para o carregamento de veículos

Potência total - Representa o máximo de potência que o sistema pode fornecer aos veículos, advém da potência contratada à rede (e.g., à EDP) e da produzida localmente.

Potência de entrada - Potência pretendida pelos veículos, como resultado dos eventos de carregamento inseridos.

6.2.1.1 - Ordenação da fila de espera de veículos “Normais”

6.2.1.1.1 - 1º Teste

Para efectuar uma simulação que permita testar a ordenação na fila de espera com base no índice de lucro foram adicionados três pedidos de carregamento com diferentes características.

Tabela 6.2 - Eventos de entrada da simulação

Id dos veículos	Quantidade de energia (kWh)	Tipo de carregamento	Hora de entrada	Hora de saída
id1	10	Lento	08:30:05	21:01:05
id2	20	Lento	08:30:05	21:01:05
id3	30	Lento	08:30:05	21:01:05

Pode-se observar na tabela as diferentes características dos veículos usados nesta simulação, todos têm a mesma hora de entrada e de saída mas apresentam quantidades de energia diferentes. De relembrar que a fórmula para cálculo do índice de lucro é a seguinte:

$$\text{índice de lucro} = \text{preço kWh} * \text{quantidade}$$

A quantidade de energia é inserida pelo utilizador como se pode observar na tabela apresentada. O preço médio é calculado através da média dos turnos pretendidos pelo utilizador ao menor preço possível, isto é o preço mínimo que o utilizador iria pagar caso estivesse em carregamento nos turnos com menor preço. Para efectuar este cálculo é necessário saber o preço por kWh que está atribuído a cada turno; tal pode ser observado no próximo gráfico.

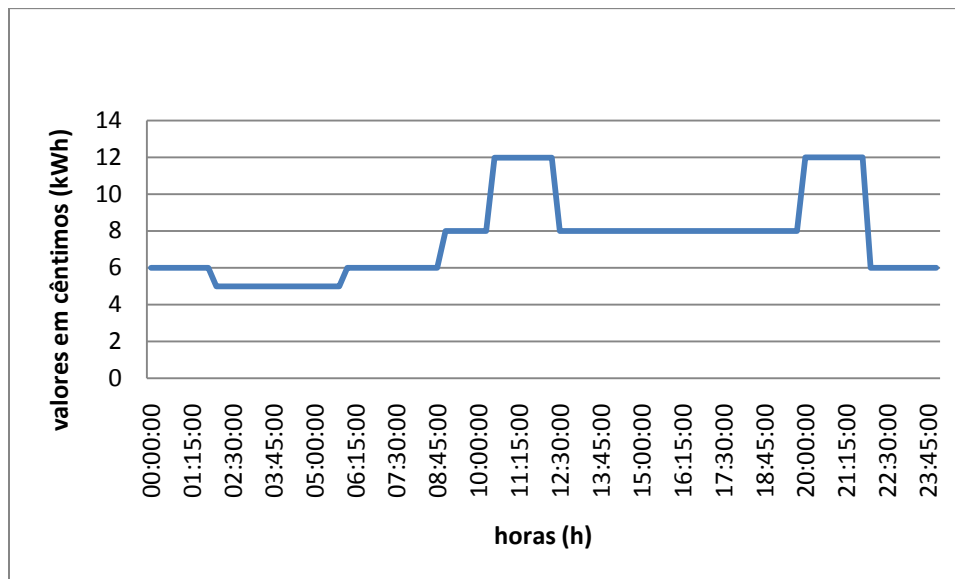


Figura 6-1 - Variação do preço por kWh ao longo de um dia

Podemos observar na figura apresentada a variação do preço do kWh ao longo de um dia; os valores para este gráfico foram retirados do site da EDP para média tensão [21].

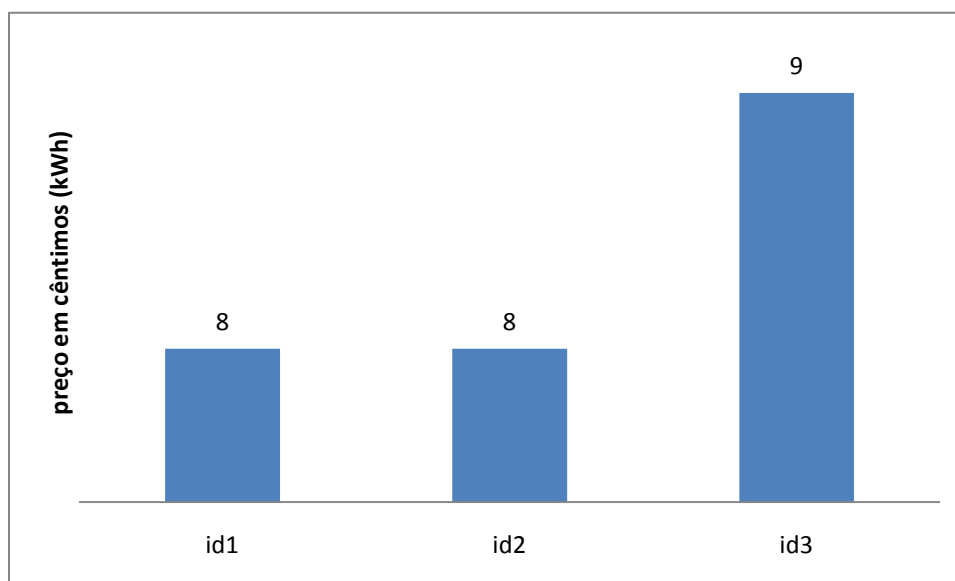


Figura 6-2 - Preço mínimo por kWh para cada veículo

Pode-se observar na figura que o veículo id3 apresenta o preço por kWh mais elevado devido a ter requisitado uma quantidade de energia superior à dos restantes veículos. Isto deve-se ao facto de serem necessários mais turnos para o carregamento do id3; logo, vai ter de ocupar turnos com custo de energia mais elevado. Desta forma o id3 obtém um preço médio de 9 cêntimos por kWh ao passo que os outros têm um preço de 8 cêntimos/kWh. Com base no preço médio e na quantidade pretendida podemos observar de seguida o índice de lucro para cada veículo:

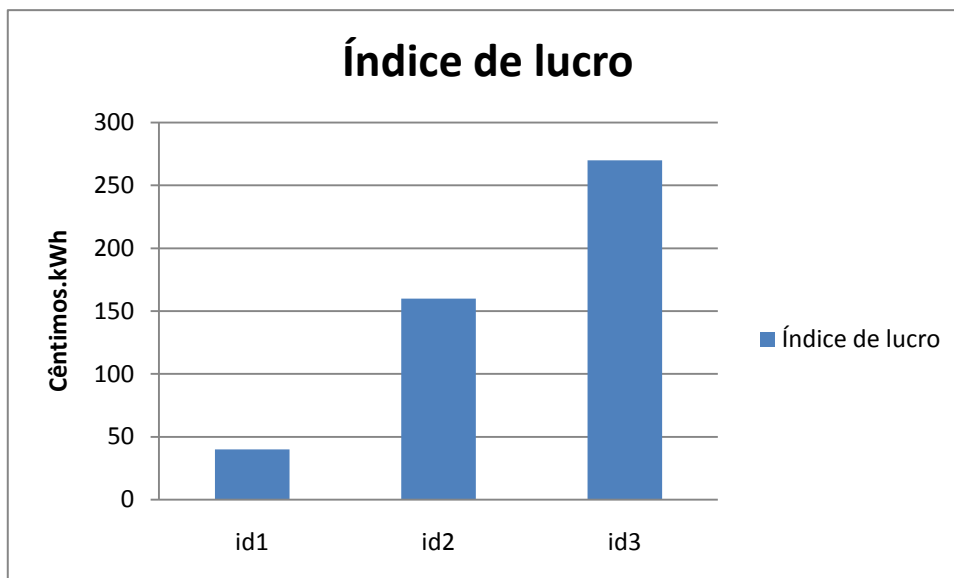


Figura 6-3 - Resultado do cálculo do índice de lucro de cada pedido

Na figura 6.3 podemos observar o índice de lucro de cada pedido pelo qual são ordenados os pedidos na fila de espera. O id3 é o que tem o índice maior devido não só a ter um preço por kWh superior (como foi visto no gráfico anterior) mas também por requer mais energia (no valor de 30 kWh). O id1 e o id2 têm o mesmo preço mas o id1 requisitou menos energia, logo o índice do id2 é superior.

6.2.1.1.2 - 2º Teste

Inserir três veículos com a mesma quantidade de energia pretendida, mas com intervalos de carga diferentes.

Tabela 6.3 - Eventos de entrada da simulação

Id dos veículos	Quantidade de energia (kWh)	Tipo de carregamento	Hora de entrada	Hora de saída
Id11	2.5	Lento	10:30:00	11:30:00
Id12	2.5	Lento	16:00:00	18:00:00
Id13	2.5	Lento	00:00:00	05:00:00

Podemos observar na tabela que a diferença entre os veículos é a hora de chegada e a hora de saída especificada pelos mesmos, sendo o tipo de carregamento (lento) e a quantidade de energia (2.5 kWh) iguais. De realçar que o veículo Id13 apesar da duração do estacionamento ser de 5 horas ele apenas pretende 1 hora de carregamento (2.5kWh). Pode-se observar na próxima figura o índice de lucro de cada veículo.

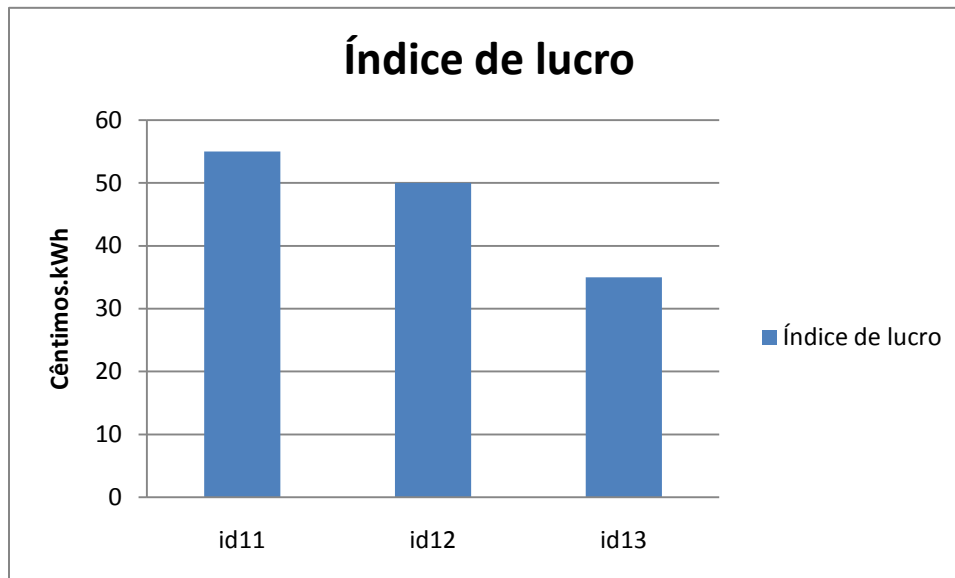


Figura 6-4 - Cálculo do índice de lucro

Como seria de esperar de acordo com a figura 6-4, o índice do id11 é o mais elevado devido a este estar numa zona de hora de ponta, seguido do id12 e por fim do id13, que se encontra em hora de vazio.

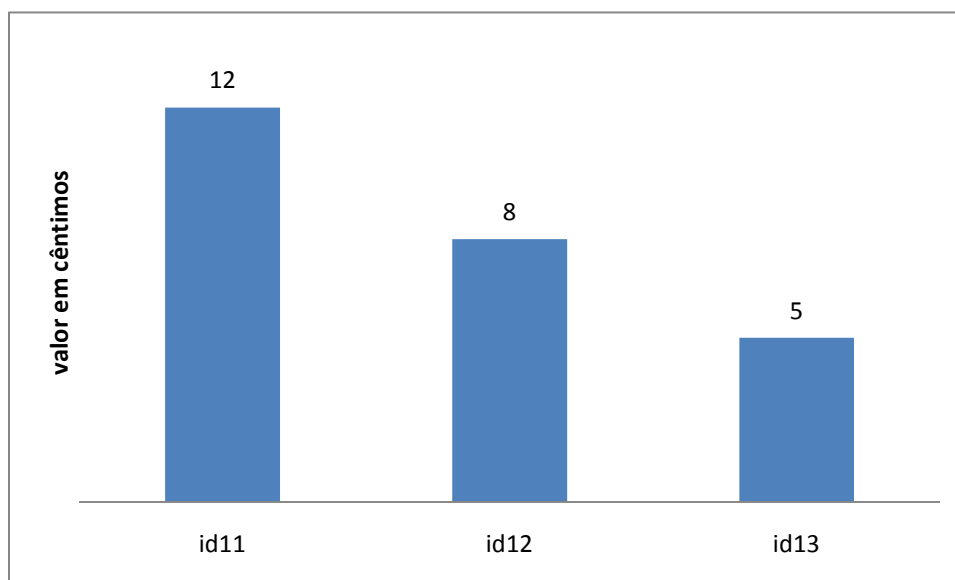


Figura 6-5 - Preço mínimo por kWh para cada veículo

Podemos observar a diferença de preço entre o id11 que se encontra numa hora de ponta entre as 10h30 e as 11h30 e o id13 que se encontra em hora de super vazio.

Através da análise dos gráficos o sistema comportou-se como era esperado no que se rever ao cálculo do preço médio e do índice de lucro. Desta forma consegue-se que os primeiros clientes a serem atendidos em casos de sobrecarga de sistema sejam os pedidos que representem mais lucro para o sistema.

6.2.1.2 - Reserva

Para testar o módulo das reservas pretende-se verificar se o sistema, com condições de disponibilidade de energia, apenas aceita pedidos de marcação de reservas com 4h de

antecedência (tal como definido pelas políticas implementadas). Num segundo teste pretende-se verificar se quando um cliente se autentica no sistema como possuidor de uma reserva, a mesma é verificada de forma a garantir que apenas utilizadores cuja reserva passou por um controle de admissão são aceites no sistema.

6.2.1.2.1 - Reserva com e sem 4h de antecedência

Para testar uma tentativa de uso de reserva sem 4h de antecedência na marcação vai ser adicionado um evento de marcação de reserva com aproximadamente 2h de antecedência e verificar a resposta do sistema através da consola:

```
Pedido: 2010-03-22-13:01:05 outros id0 reservar lento 2010-03-22-14:50:05 2010-03-22-21:01:05 10 20
```

```
Resposta: pedido de reserva rejeitado
```

Pode-se verificar a estrutura do pedido que é inserido no simulador, a primeira data corresponde à data em que o pedido foi efectuado, “outros” corresponde a fila de espera dos “outros” (como já foi explicado anteriormente), id0 é o identificador do veículo, lento é o tipo de carregamento, as duas datas correspondem ao intervalo de tempo que o utilizador pretende reservar, o valor “10” indica a quantidade de energia pretendida em kWh e por fim o valor 20 indica o preço máximo (em cêntimos de euro) que o utilizador está disposto a pagar por kWh. Como era de esperar o sistema respondeu com uma rejeição ao pedido de reserva.

Agora o mesmo pedido realizado às 08h em vez das 13h:

```
Pedido: 2010-03-22-08:01:05 outros id0 reservar lento 2010-03-22-14:50:05 2010-03-22-21:01:05 10 20
```

```
Resposta: pedido de reserva aceite
```

```
Parâmetros: { id0_reserva, 2010-03-22-14:50:05 2010-03-22-21:01:05 16 lento }
```

Pode-se verificar que desta vez o pedido de reserva foi aceite. O simulador guarda os parâmetros da reserva numa *HashTable*, onde guarda também a hora de início e de fim bem como o número de turnos correspondentes à energia indicada pelo utilizador (que foi possível atribuir) - neste caso são 16 turnos que correspondem a 10 kWh e também o tipo de carregamento (lento ou rápido).

6.2.1.2.2 - Activar reserva com e sem marcação

Para testar este módulo vão ser inseridos dois eventos, um pedido de activação de reserva sem marcação prévia e outro com a respectiva marcação prévia.

```
Pedido 1 : 2010-03-22-14:50:05 carregar id0 reserva
```

```
Resposta 1 : Cliente não tem reserva
```

Foi efectuado um pedido de activação de uma reserva às 14h50, do veículo com identificação “id0”. Ao receber o pedido o sistema verifica se o cliente tinha marcação; como esta não existia, o cliente foi rejeitado tal como se comprova na resposta devolvida. Convém salientar que para os pedidos de activação de reservas basta ao cliente indicar o id (e eventualmente algum código de segurança) visto que os outros dados já estão guardados no

sistema. De seguida vai ser feito um pedido de marcação com mais de 4h de antecedência e verificar a diferença.

Pedido 2: 2010-03-22-08:01:05 outros id0 reservar lento 2010-03-22-14:50:05 2010-03-22-21:01:05 10 20

Resposta 2: pedido de reserva aceite

Pedido de activação da reserva efectuada anteriormente:

Pedido 2a: 2010-03-22-14:50:05 carregar id0 reserva

Resposta 2a: turnos adicionados : 16

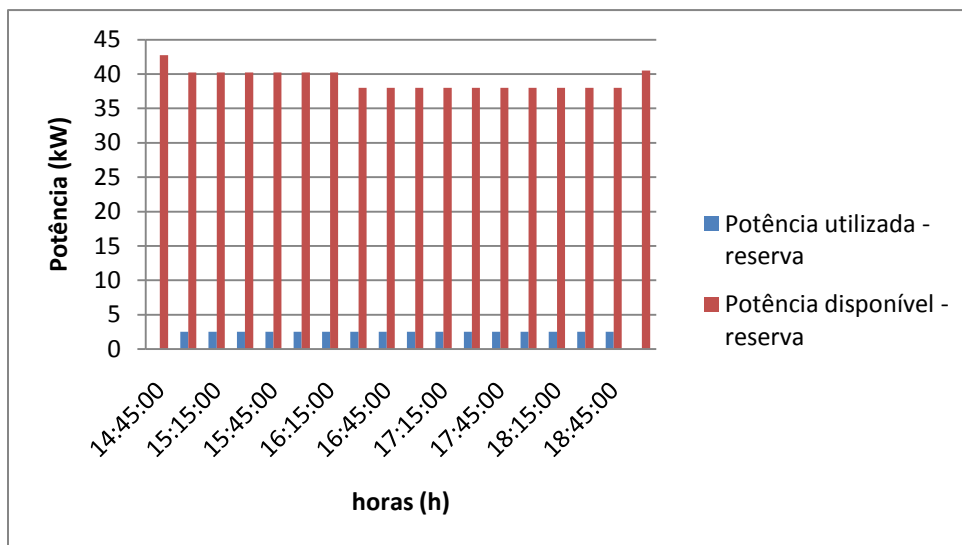


Figura 6-6 - Potência utilizada/disponível Reserva

Podemos verificar que o pedido de activação de reserva foi aceite desta vez, devido ao cliente ter marcado a reserva com mais de 4h de antecedência (pedido e resposta 2a) e existir potência disponível para o atribuir. Na figura 6.6 pode-se observar a aceitação do veículo id0, que neste caso é o único presente no sistema, nos 16 turnos pretendidos que correspondem aos 10kWh. Os mesmos correspondem a 4 h de carregamento, 16 turnos de 15min.

6.2.1.3 - Premium - Teste a política de prioridade

Com este cenário pretende-se testar a política de prioridade aplicada aos “Premium” em relação aos veículos “Normais”.

Para testar este cenário pretende-se sobrecarregar o sistema com veículos “Normais” de forma a não existir potência disponível para o carregamento de um veículo Premium. Pretendemos observar se o algoritmo respeita a política de prioridade definida e suspende um veículo “Normal” para inserir o “Premium”. De seguida será apresentada uma tabela com os eventos de entrada para esta simulação.

Tabela 6.4 - Eventos de entrada na simulação

Id dos veículos	Quantidade de energia (kWh)	Tipo de carregamento	Tipo de cliente	Hora de entrada	Hora de saída
Id1	20	Rápido	Normal	17:00:00	17:30:00
Id2	20	Rápido	Normal	17:00:00	17:30:00
Id3	20	Rápido	Normal	17:00:00	17:30:00
Id4	20	Rápido	Normal	17:00:00	17:30:00
Id5	20	Rápido	Normal	17:00:00	17:30:00
Id6	20	Rápido	Normal	17:00:00	17:30:00
Id7	10	Rápido	Premium	17:15:00	17:30:00

Devido à potência máxima disponível ser 270kW e cada carregamento rápido necessitar de 40 kW, quando o cliente id7 chega ao sistema apenas existem 30 kW de potência disponível.

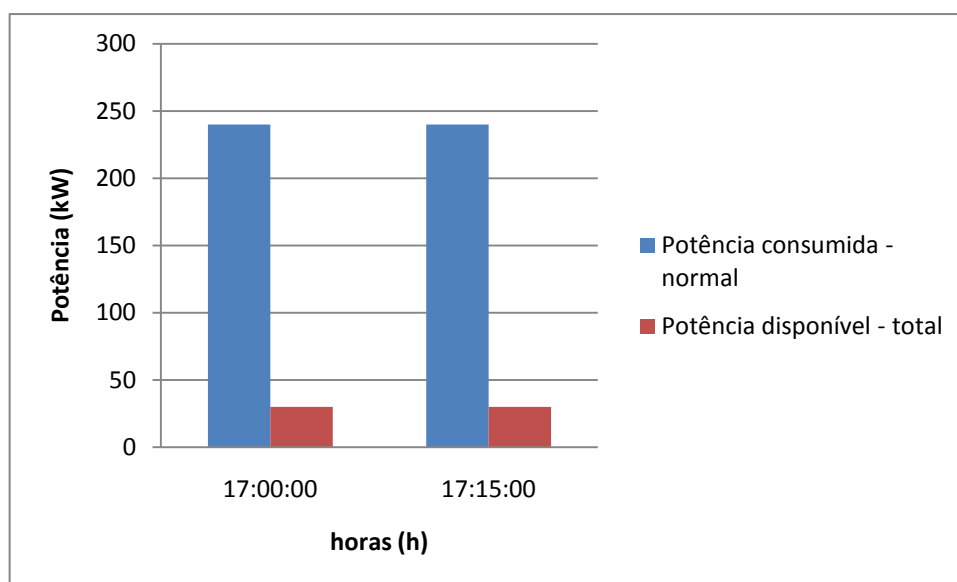


Figura 6-7 - Potência utilizada/disponível

Podemos observar que estão a ser consumidos 240kW por parte dos veículos Normais e existem 30 kW disponíveis. Podemos observar no próximo gráfico o que acontece quando o veículo Premium da entrada no sistema.

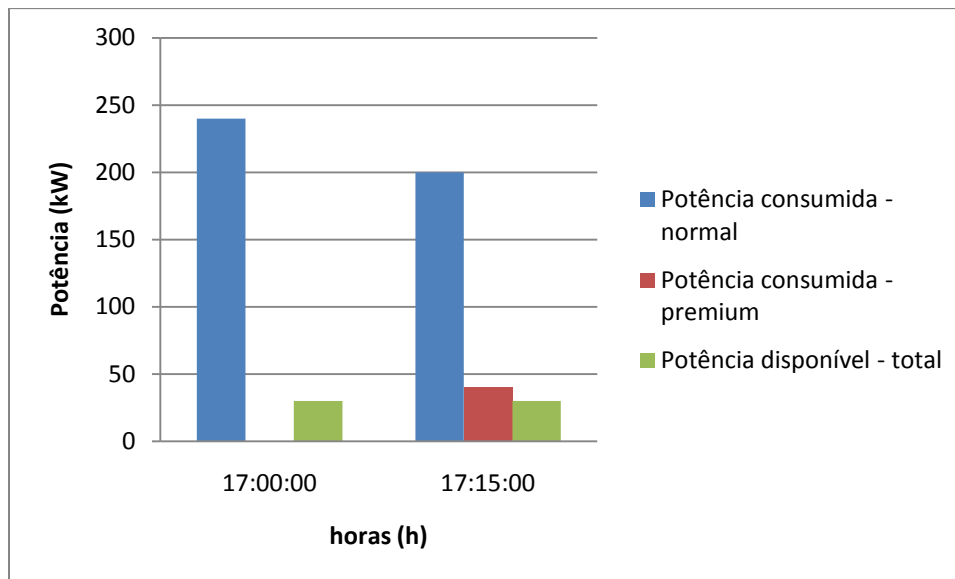


Figura 6-8 - Potência disponível/consumida

Depois de ter dado entrada no sistema o pedido de carregamento Premium que pretende carregar das 17h15h às 17h30 nota-se que o sistema suspendeu um veículo Normal para servir o Premium. A potência consumida pelos “Normais” teve um decréscimo de 240 kW para 200 kW. Desta forma conclui-se que o algoritmo respeitou a política de prioridades implementada.

6.2.1.4 - Potência do operador contratado e das energias renováveis

Pretende-se verificar a flutuação da potência disponível ao longo de um dia e as alterações provocadas pela produção das energias renováveis. De realçar que o preço da rede EDP (operador contratado para efeitos da simulação) foi retirado do respectivo site [21], para média tensão e o preço da energia renovável foi arbitrado como 7 cêntimos por kWh pois depende do investimento inicial. No caso de um particular o retorno do investimento é previsto ocorrer em 5-7 anos [48]. A produção local neste caso é através do aproveitamento de energia solar que em média têm 6h de produção diárias em Portugal, para efeitos de simulação foi considerado que a produção ocorre entre as 10h30h e as 16h30. A potência local instalada de energias renováveis para efeitos de simulação foi de 15kW, que corresponde a 6% da potência contratada à EDP. O preço combinado da EDP e produção local é calculado segundo a seguinte fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{preço} = & \left(\text{quantidade de energia} \frac{EDP}{total} * \text{preço EDP} \right) \\
 & + \left(\text{quantidade de energia} \frac{local}{total} * \text{preço local} \right)
 \end{aligned}$$

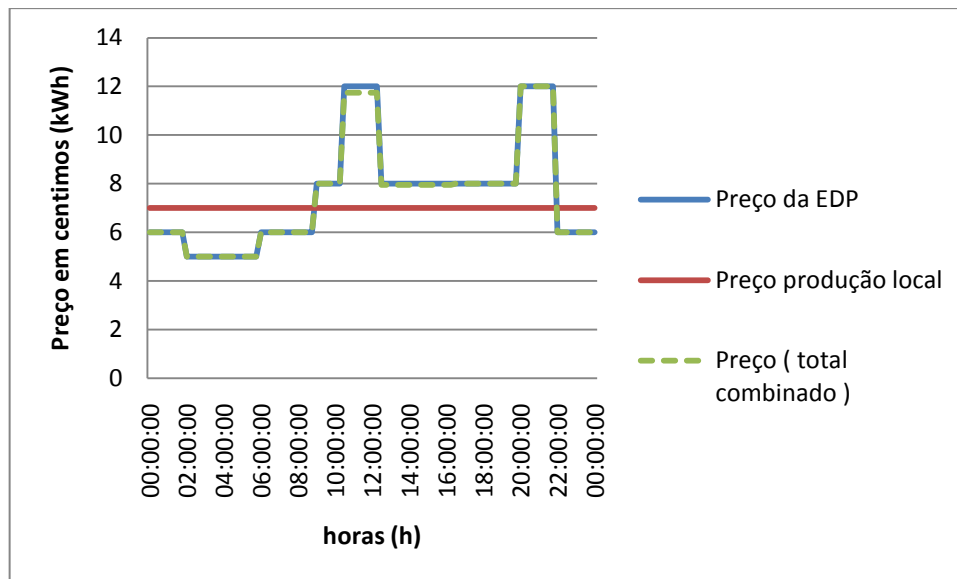


Figura 6-9 - Variação dos preços ao longo de um dia

Observa-se no gráfico a variação do preço combinado; nota-se uma ligeira diferença no preço combinado e do preço da EDP. As distribuições da potência da EDP e da produção local serão apresentadas no próximo gráfico.

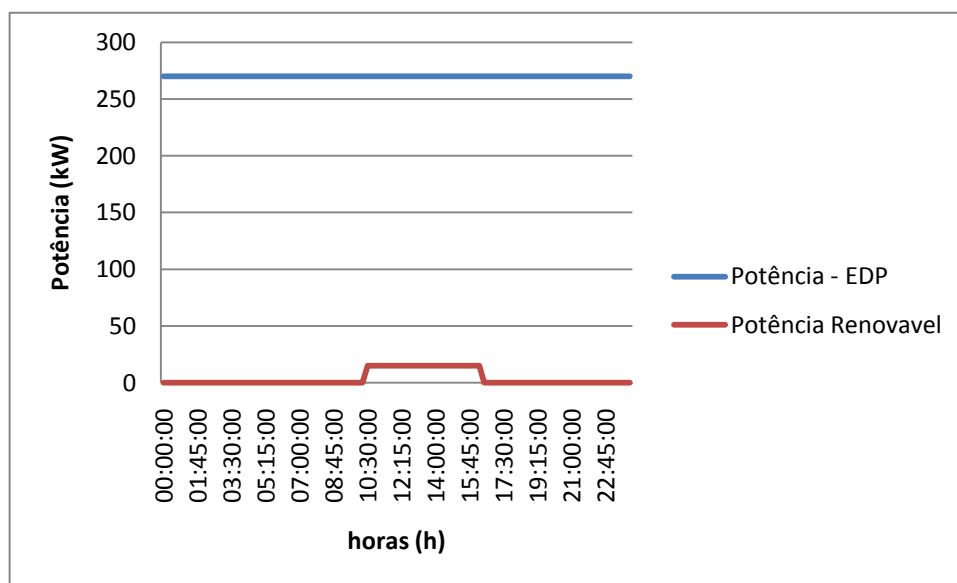


Figura 6-10 - Distribuição da potência

Neste caso a produção de energias renováveis corresponde a 90kWh por dia (corresponde a 100m² de produção solar), o que dividido pelas seis horas de produção diária dá os 15 kW de potência observados na figura. Como a produção de energia renovável neste caso é pequena quando comparada com a do operador, o preço combinado vai ser muito aproximado do preço do operador contratado como se pode verificar na Figura 6-9. Para se observar melhor a influência da energia renovável no preço combinado, vai ser feito outro teste mas com uma produção de 270 kWh por dia, que corresponde a 300m².

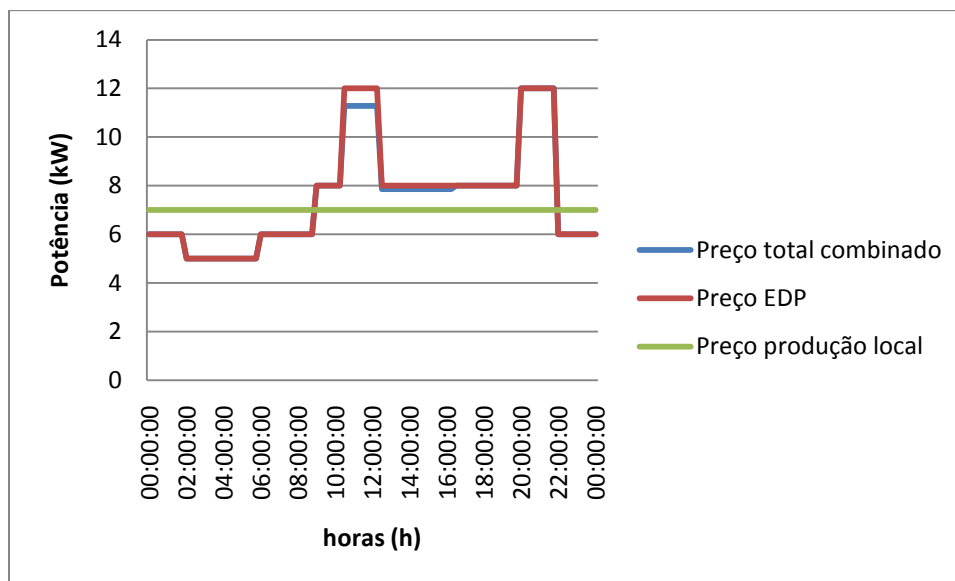


Figura 6-11 - Variação dos preços ao longo de um dia

Neste caso já se nota uma diferença mais acentuada do preço total para o do operador contratado.

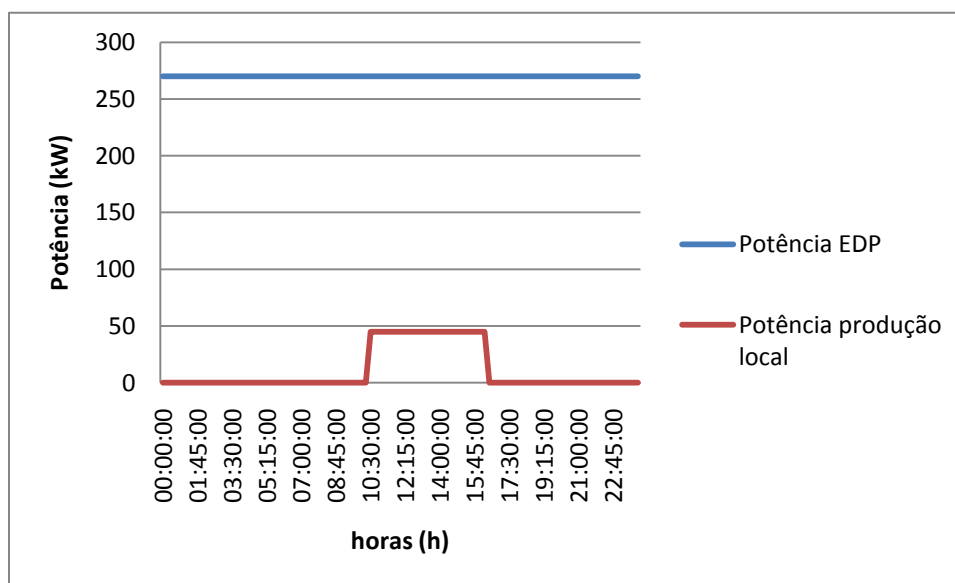


Figura 6-12 - distribuição de potência

Comprava-se neste gráfico que a influência da produção local neste teste é maior que no anterior.

Depois de realizados estes testes concluiu-se que o módulo do preço de energia está a funcionar correctamente e que o preço é influenciado pelos dois tipos de fornecedores existentes.

Neste sistema não foi considerada a produção de energia renovável a partir de fontes eólicas na medida em que não será expectável que a grande maioria dos operadores de parques de estacionamento tenha possibilidade de instalar estes sistemas (pelo ruído que provocam) bem como pelo facto da produção da energia por este recurso ser mais variável que a produção solar. De qualquer forma, para efeitos de simulação foi apenas considerada um valor definido para a energia produzida de energia renováveis, podendo esta energia ser obtida por uma mistura de combinações.

6.2.1.5 - Escalonamento do algoritmo

Nesta secção vão ser testadas as capacidades de adaptação do algoritmo em situações que é necessário escalonar pedidos, para satisfazer o máximo de utilizadores.

6.2.1.5.1 - Escalonamento de um veículo de carregamento rápido

O objectivo deste cenário é testar o escalonamento realizado pelo algoritmo numa situação em que dá entrada um pedido de carregamento rápido e não há energia disponível para o mesmo (devido a estar a ser usada pelos outros carregamentos). Pretende-se verificar se o algoritmo é capaz de adiar carregamentos lentos de forma a poder servir o pedido.

Para simular este teste foram adicionados 5 veículos “Premium” de carregamento lento o que corresponde a uma potência consumida de 12.5 kW, sendo que ficando disponíveis para veículos “Premium” 28kw sendo a potência máxima disponibilizada igual a 40.5 kW.

Tabela 6.5 - Eventos de entrada na simulação

Id dos veículos	Quantidade de energia (kWh)	Tipo de carregamento	Tipo de cliente	Hora de entrada	Hora de saída
Id1	5	Lento	Premium	17:00:00	20:00:00
Id2	5	Lento	Premium	17:00:00	20:00:00
Id3	5	Lento	Premium	17:00:00	20:00:00
Id4	5	Lento	Premium	17:00:00	20:00:00
Id5	5	Lento	Premium	17:00:00	20:00:00
Id6	20	Rápido	Premium	17:30:00	17:45:00

Os veículos lentos adicionados requisitaram 5 kWh cada um, o que corresponde a 2h de carregamento lento; como se pode comprovar através da hora de entrada e saída, os veículos vão estar presentes na estação de carregamento durante 3h.

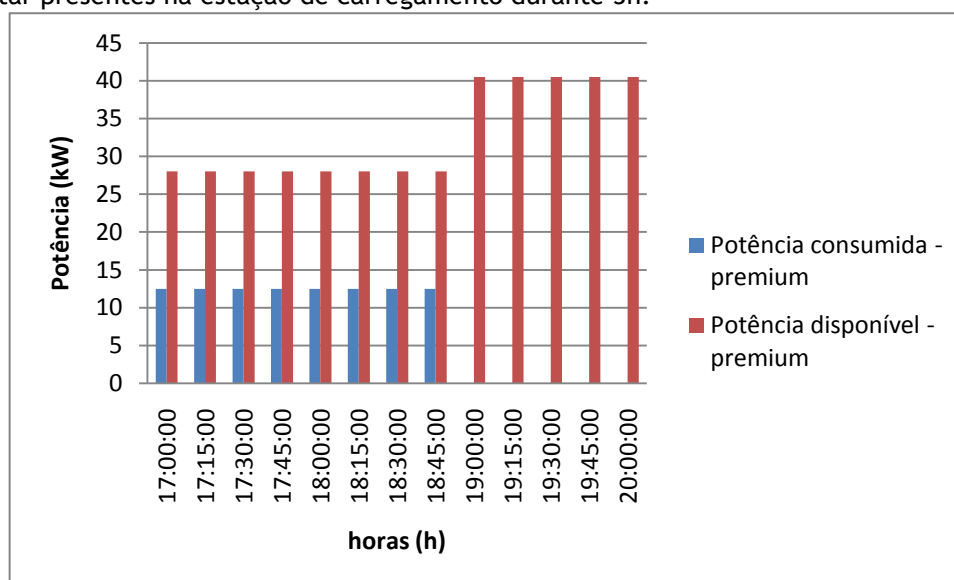


Figura 6-13 - potência consumida e disponível para os veículos Premium

Na figura 6-13 podemos observar a atribuição dos pedidos lentos antes da chegada do pedido de carregamento rápido às 17h30. No gráfico apresentado a seguir podemos verificar o que acontece após a chegada do novo pedido.

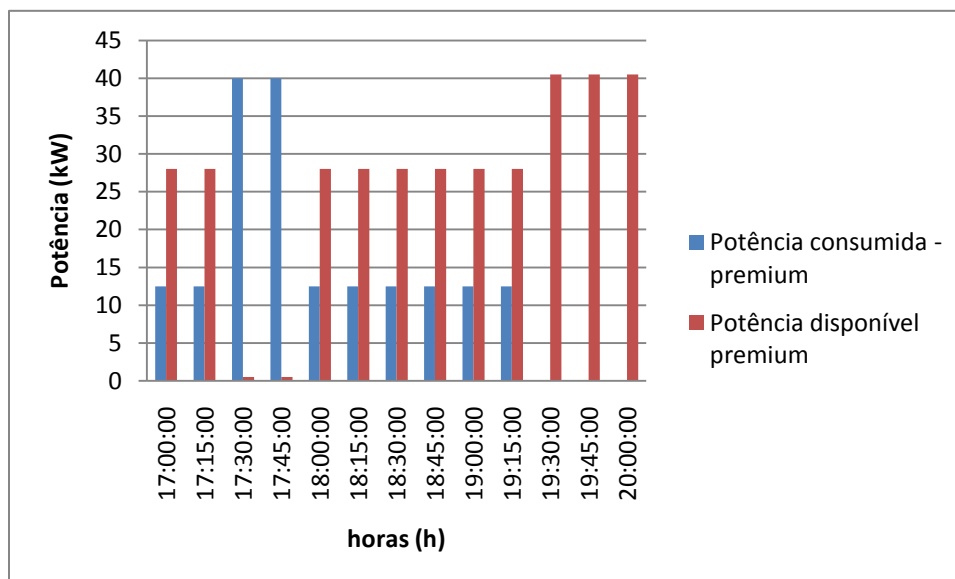


Figura 6-14 - potência consumida/disponível Premium

Podemos comprovar que o veículo de carregamento rápido que pretendia 2 turnos entre as 17h30 e as 18h foi servido. Para isso foi necessário adiar 2 turnos aos veículos lentos; isto apenas foi possível devido ao facto de os veículos lentos apenas pretenderem 2h durante as 3h em que estão no parque. Desta forma foi possível fazer o escalonamento dos carregamentos de forma a satisfazer todos os pedidos.

6.2.1.5.2 - Escalonamento após a invocação de “desligar” veículos

Com este cenário pretende-se observar o comportamento do sistema após a invocação de “desligar” por parte dos clientes e verificar o aproveitamento dos recursos libertados por outros veículos. Para esta simulação vão ser adicionados os seguintes veículos:

Tabela 6.6 Eventos de entrada na simulação

Id dos veículos	Quantidade de energia (kWh)	Tipo de carregamento	Tipo de cliente	Hora de entrada	Hora de saída
Id1	40	Rápido	Premium	17:30:00	18:30:00
Id2	2.5	Lento	Premium	17:30:00	18:30:00
Id3	2.5	Lento	Premium	17:30:00	18:30:00

Foram criados 3 eventos de pedido de carregamento, um rápido que pretende 40 kWh que corresponde a 1h de carregamento e dois lentos que pretendem 2.5 kWh que corresponde também a 1h de carregamento. Como a potência máxima disponível para os Premium é de 40.5 kW e o veículo id1 necessitar de uma potência de 40 kW, correspondente ao carregamento rápido, apenas o veículo id1 vai efectuar o carregamento devido a ter sido o primeiro a chegar e não haver potência disponível para satisfazer os outros veículos. De realçar que apesar do valor 40.5kW não ser um número “redondo” de carregamentos lentos ou rápidos, os 0.5kW podem ser aproveitados por veículos Normais.

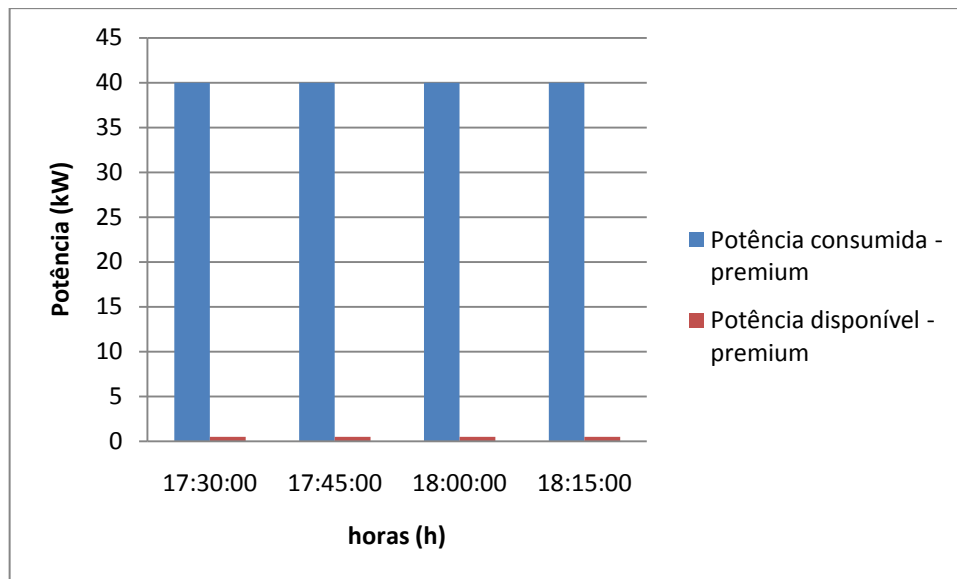


Figura 6-15 - potência consumida/disponível - Premium

Como se comprova na figura não existe potência disponível para carregar os dois veículos lentos. De seguida realiza-se o mesmo teste, mas adicionado um evento de “desligar” o veículo id1 (rápido) às 18h, para verificar se o algoritmo é capaz de aproveitar os recursos libertados.

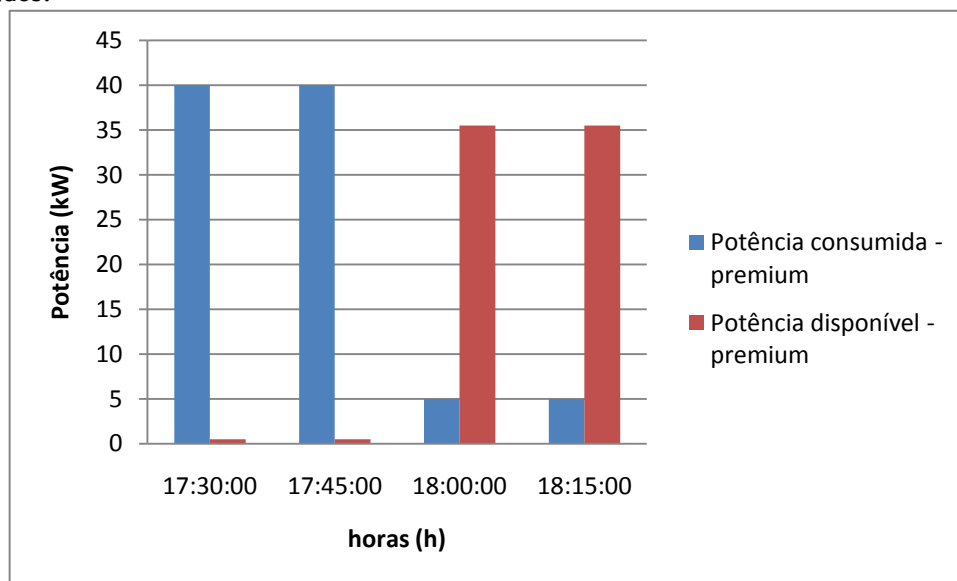


Figura 6-16 - potência consumida/disponível - Premium

Neste caso como o veículo id1 deu saída mais cedo do que o previsto, o algoritmo aproveitou os recursos libertados e atribuiu dois turnos aos veículos lentos. De realçar que quando um cliente invoca a opção “desligar” são guardados numa tabela a data de carregamento, os turnos em que esteve em carregamento e o preço médio real da energia que consumiu.

Output: { id1_factura, 2010-03-22-17:59:05_premium_rapido_70 71 _8 }

Pode-se observar no *output* do sistema a hora de saída do veículo, o tipo de cliente e carregamento, Premium e rápido, os turnos em que esteve em carregamento (70 e 71) e o preço médio de 8 cêntimos.

Pode-se concluir que a função “desligar” está a funcionar correctamente; além de calcular o preço médio e o número de turnos de carregamento, o algoritmo aproveita os recursos libertados servindo pedidos que se encontram pendentes.

6.2.1.6 - Conclusão

Através da realização destes testes pode-se concluir que os módulos implementados estão a funcionar correctamente.

Na secção seguinte vão ser apresentados os resultados obtidos em testes gerados a partir de eventos controlados com o objectivo de testar e validar a interacção dos diversos módulos apresentados.

6.2.2 - Testes gerais com pedidos controlados

Nesta secção vão ser apresentados os resultados obtidos nos testes gerados através de eventos controlados de forma a verificar o funcionamento do algoritmo. A potência contratada neste teste tem o valor de 270kW e a potência das fontes renováveis o valor de 15kW entre as 10h e as 16h.

6.2.2.1 - Situação sem sobrecarga

Neste cenário inicial pretende-se observar uma situação de carregamento de diversos veículos ao longo de um dia e verificar a distribuição dos pedidos num caso em que a potência pretendida pelos veículos é inferior a potência disponível. De realçar que este teste visa garantir que todos os pedidos são satisfeitos

Tabela 6.7 Entrada de eventos na simulação

Id dos veículos	Número de veículos	Quantidade de energia (kWh)	Tipo de carregamento	Tipo de cliente	Hora de entrada	Hora de saída
Id0-id11	12	20	Lento	Premium	00:00	16:00
Id12-id23	12	20	Lento	Premium	08:00	24:00
Id24-id35	12	20	Lento	Premium	16:00	08:00
Id36 -id43	8	20	Lento	Reserva	00:00	16:00
Id44-id52	8	20	Lento	Reserva	08:00	24:00
Id53-id60	8	20	Lento	Reserva	16:00	08:00
Id61-id96	36	20	Lento	Normal	00:00	16:00
Id97-Id132	36	20	Lento	Normal	08:00	16:00
Id133-id168	36	20	Lento	Normal	16:00	08:00
Id169-id184	16	15	Lento	Normal	10:00	22:00

Para simular o escalonamento realizado pelo algoritmo foram criados os eventos de pedido de carregamento que se podem observar na tabela. Aos Premium e aos Reserva foram adicionados pedidos de carregamento lento que pretendem 20kWh que corresponde a 8h de carregamento distribuídos por três turnos (00h-08h, 08h-16h e 16h-24h). Para habilitar o algoritmo com margem de manobra para fazer o escalonamento, os veículos apesar de pretenderem 8h de carregamento ficam estacionados 16h. Apesar de um veículo estar estacionado 16h ser um valor elevado esse valor é usado para efeitos da simulação de forma a verificar o funcionamento do algoritmo. Por sua vez aos “Normais” foram adicionados 36

pedidos de carregamento lento nas mesmas condições que os Premium e Reserva no que se refere às horas de permanência. Devido aos veículos “Normais” terem mais potência disponível que os restantes, vão ser também adicionados carregamentos rápidos.

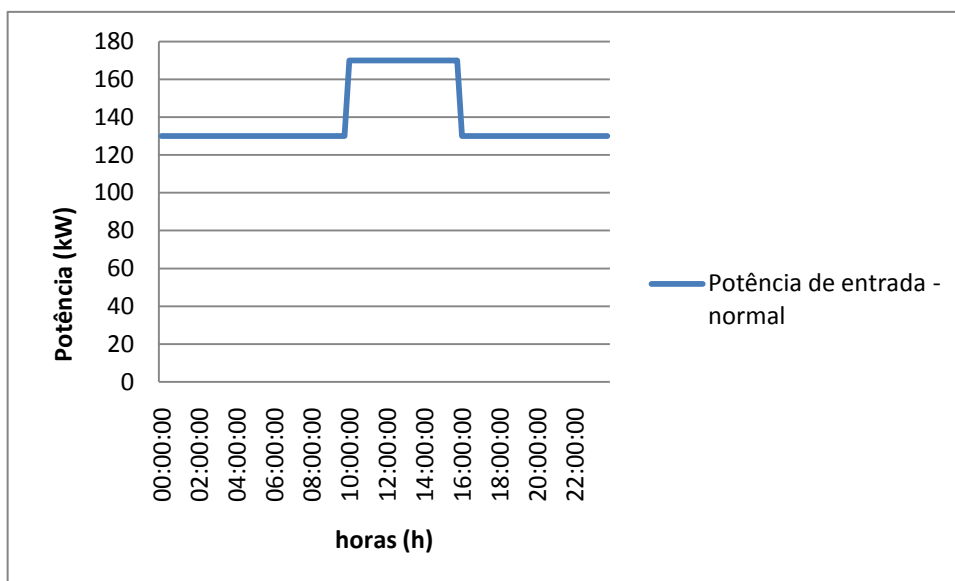


Figura 6-17 - Potência pretendida pelos veículos "Normais"

Pode-se observar na figura 6-17 a potência pretendida pelos veículos “Normais” com os carregamentos rápidos que se adicionaram. Foram adicionados 48 veículos (carregamento rápido) que pretendem 20 kWh, correspondente a 30min de carregamento. Os mesmos foram adicionados das 00h às 24h em turnos de meia hora e com permanência na estação de 1h30. De realçar os veículos de carregamento lento que foram adicionados às 10h; estes pretendem 15 kWh, o que corresponde a 6h de carregamento. Desta forma a potência pretendida pelos veículos “Normais” entre as 00h-10h30 e 16h30-24h tem o valor de 130kW que advêm dos 36 carregamentos lentos ($36 \times 2.5 = 90 \text{ kW}$) e do carregamento rápido adicionado (40 kW). Como entre as 10h30h e as 16h30 foram adicionados 16 carregamentos lentos ($16 \times 2.5 = 40 \text{ kW}$) a potência eleva-se para 170kW. Estes valores reflectem a potência de carregamento que está a ser utilizada pelos veículos em cada turno. Por sua vez os veículos Premium têm uma potência constante ao longo do dia com um valor de 30kW (12×2.5) e 20kW para veículos com Reserva (8×2.5).

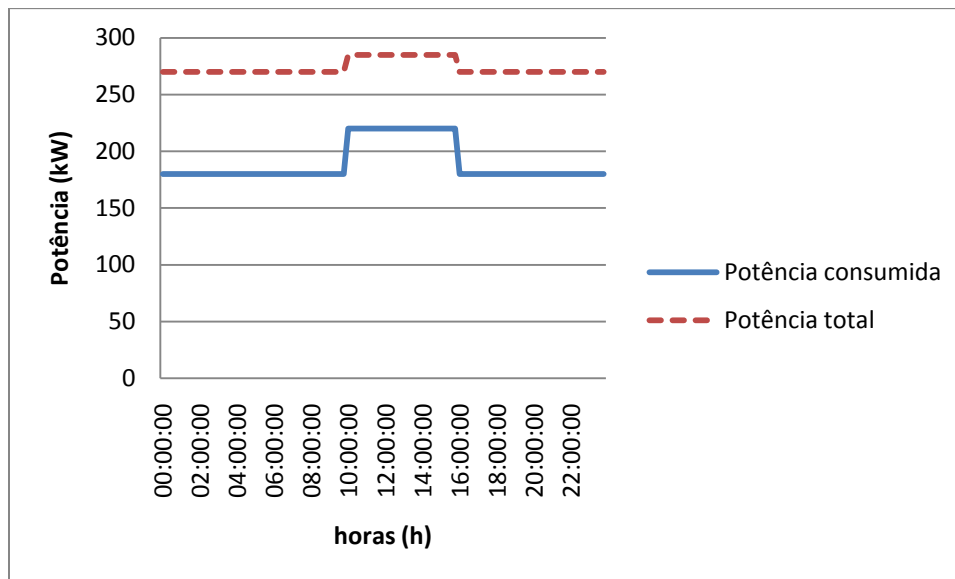


Figura 6-18 - Resultado da simulação potência consumida e total

O resultado da simulação foi o esperado; os eventos de pedido adicionados não causaram sobrecarga no sistema. A potência entre as 00h - 10h30 e as 16h30 - 24h tem o valor de 180 kW e nas restantes 220 kW. A potência de 180 kW explica-se devido aos veículos lentos adicionados com o valor de 140kW (12 Premium, 8 Reserva, 36 Normal a carregar a 2.5 kW) e ao carregamento rápido de 40 kW. Os 220 kW advêm dos carregamentos extras adicionados entre as 10h30 e as 16h30.

6.2.2.2 - Situação com sobrecarga em horas de ponta

O objectivo deste cenário é sobrecarregar o sistema com pedidos de carregamento para que a potência pretendida pelos utilizadores seja superior à potência máxima disponível no sistema. Pretende-se observar se o sistema consegue escalonar os pedidos. Para realizar este foram usados, como base, os eventos de pedido utilizados na simulação anterior. Para criar um cenário de sobrecarga foram adicionados ao da simulação anterior carregamentos “Normais” do tipo rápido e lento. Na próxima tabela (6.8) pode-se observar os carregamentos adicionados.

Tabela 6.8 - Eventos de entrada na simulação

Id dos veículos	Número de veículos	Quantidade de energia (kWh)	Tipo de carregamento	Tipo de cliente	Hora de entrada	Hora de saída
Id0-id15	16	15	Lento	Normal	10:00	16:00
Id16	1	20	Rápido	Normal	10:00	11:30
Id17	1	20	Rápido	Normal	10:30	12:00
Id18	1	20	Rápido	Normal	11:00	12:30
Id19	1	20	Rápido	Normal	11:30	13:00
Id20	1	20	Rápido	Normal	12:00	13:30
Id21	1	20	Rápido	Normal	12:30	14:00
Id22	1	20	Rápido	Normal	13:00	14:30
Id23	1	20	Rápido	Normal	13:30	15:00
Id24	1	20	Rápido	Normal	14:00	15:30
Id25	1	20	Rápido	Normal	14:30	16:00
Id26	1	20	Rápido	Normal	15:00	16:30
Id27	1	20	Rápido	Normal	15:30	17:00

Observa-se na tabela anterior os eventos adicionados para causar uma sobrecarga no sistema das 10h às 16h. No cenário da simulação anterior a potência pretendida das 10h às 16h era de 220 kW. Com os novos eventos adicionados a potência eleva-se para 300 kW, devido aos 16 carregamentos lentos ($16 \times 2.5 = 40$ kW) que estão a ocorrer durante as 6h e aos carregamentos rápidos; neste caso, como se pode observar na tabela, há sempre um carregamento rápido durante as 6h (40 kW).

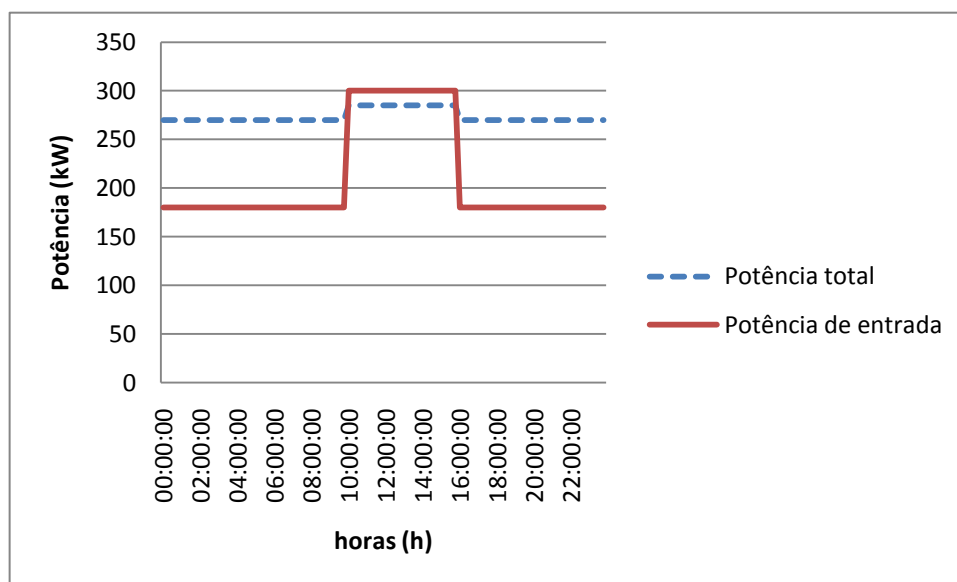


Figura 6-19 - Potência pretendida

Podemos observar no gráfico a potência pretendida pelos veículos (potência de entrada) e a potência total, que representa o máximo valor de potência disponível. Entre as 10h e as 16h existe uma sobrecarga que foi adicionada para testar o escalonamento realizado pelo algoritmo; no teste anterior havia uma potência pretendida pelos veículos com um máximo de

220 kW enquanto neste o máximo pretendido é de 300 kW, sendo a potência máxima disponível de 285 kW.

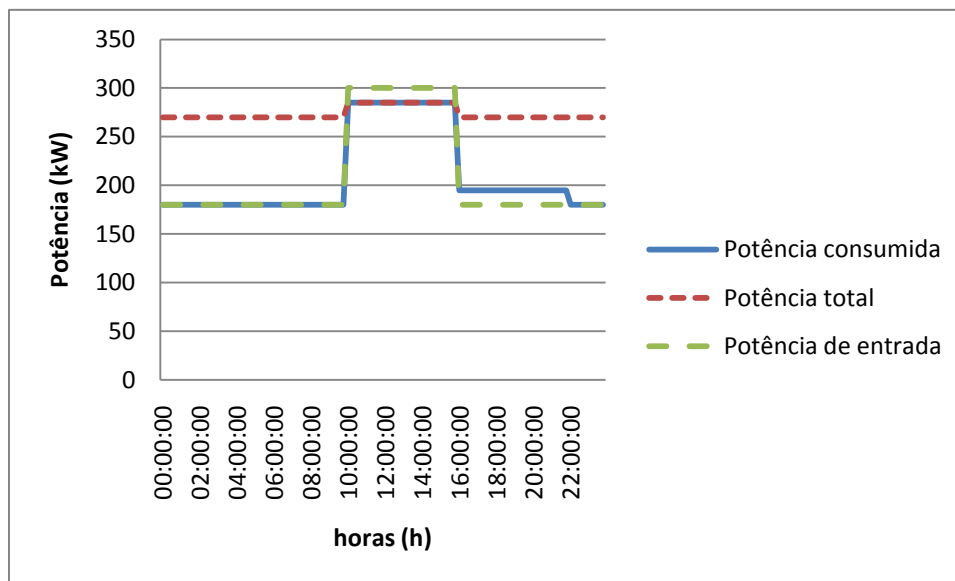


Figura 6-20 - Resultado da simulação

No gráfico acima representado podemos observar o resultado da simulação, nota-se que o escalonamento alterou o excesso de carga que existia das 10h às 16h, transferindo-o para o período 16h e as 22h (Potência consumida). Podemos concluir que, nos casos em que os utilizadores indiquem a hora que pretendem sair, o algoritmo consegue escalonar os pedidos, de forma a satisfazer o máximo de clientes.

6.2.2.3 - Situação com quebra de energia

Nesta secção pretende-se verificar a resposta do algoritmo em situações não previsíveis, como é uma falha de energia.

6.2.2.3.1 - Quebra de energia que só influencie os veículos “Normais”

O objectivo deste teste é verificar a resposta do sistema a uma situação de uma quebra inesperada de energia, neste caso uma que influencie apenas os veículos “Normais”, e verificar que os veículos “Premium” e “Reserva” não são afectados. Para isto será adicionado um evento de quebra de energia entre as 13h e as 14h onde a potência disponível no sistema toma o valor de 285 kW (270 do operador contratado + 15 da produção local) de forma que a mesma baixe para 120 kW e observar o comportamento do algoritmo. Para esta simulação são usados os mesmos eventos de carregamento das simulações anteriores (secção 6.2.2.1).

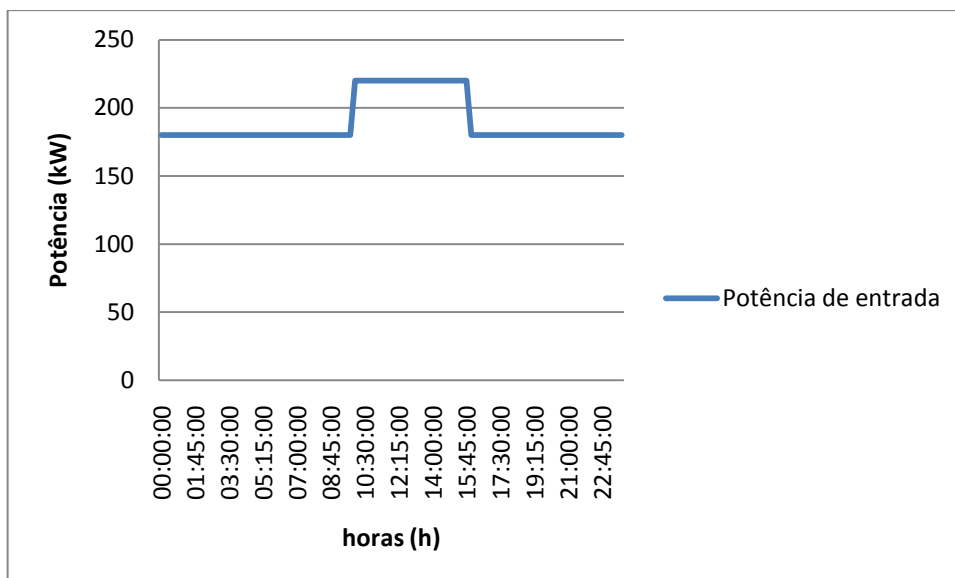


Figura 6-21 - Potência pretendida pelos veículos

Podemos observar no gráfico a potência pretendida pelos veículos. A potência no período em que se introduz a quebra de energia das 13h às 14h encontra-se nos 220 kW o que vai reflectir-se numa perda de 100 kW para atingir os 120 kW.

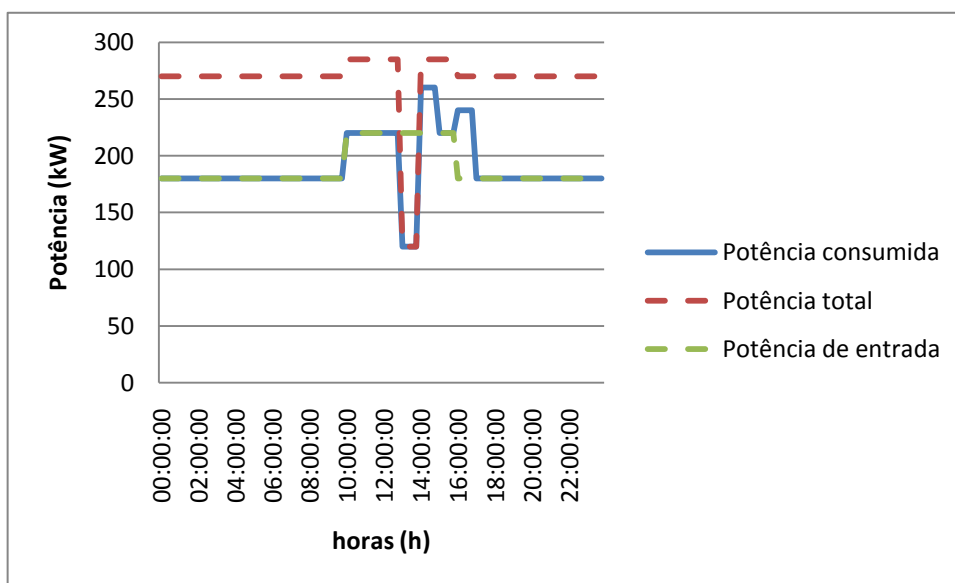


Figura 6-22 - Resultado da simulação

Podemos verificar que devido à quebra de energia inesperada, o algoritmo para estabilizar o sistema (a potência consumida não pode ser superior à total) teve de suspender alguns carregamentos e escaloná-los em turnos após as 14h, hora em que a potência volta aos valores normais. Em relação à compensação de energia, como se pode observar no gráfico, ela ocorreu em dois intervalos distintos. No primeiro intervalo (das 14h às 15h), foi relativa aos veículos de carregamento rápido; pode-se ver no gráfico que no intervalo indicado a potência consumida é de 260 kW enquanto a de entrada era de 220 kW correspondendo os 40 kW de diferença aos carregamentos rápidos. O segundo intervalo (das 16h às 17h) é relativo aos veículos de carregamento lento. Observa-se no gráfico que a diferença entre a potência total e a consumida entre as 16 e as 17h é de 60 kW, o que corresponde a 24 veículos lentos. O facto de os veículos de carregamento lento só serem compensados às 16h, apesar de haver

potência disponível depois das 14h, deve-se aos mesmos já estarem antes escalonados para carregar das 14h às 16h.

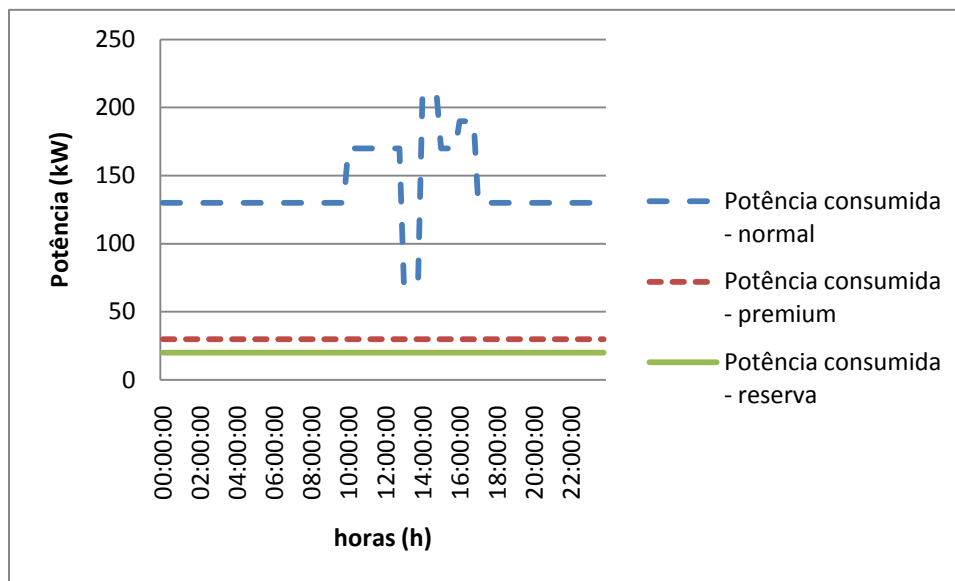


Figura 6-23 - Potência Normal, Premium e Reserva

Em relação às prioridades é suposto que apenas os veículos com estatuto “Normais”, sofram com esta quebra de energia, devido à política implementada. Tal pode-se comprovar no gráfico apresentado, em que o valor da potência consumida pelos carregamentos “Normais” desce até os 70 kW, enquanto os Premium e os Reserva se mantêm constantes nos 30 e 20 kW, sem ocorrer qualquer quebra.

Pode-se concluir que o algoritmo respeitou as prioridades implementadas apenas suspendendo os veículos Normais e além disso fez o escalonamento dos pedidos suspensos de forma a compensar os mesmos pela quebra de energia.

6.2.2.3.2 - Quebra de energia que influencie os veículos “Normais” e os “Premium”

Neste teste o objectivo é simular uma quebra de energia que afecte os veículos “Normais” e “Premium”. Neste teste foram usados os mesmo parâmetros de entrada que na simulação anterior (secção 6.2.2.3.1), com a excepção do valor de quebra de energia que neste caso é de 30 kW em vez dos 120 kW. De realçar que a máxima potência disponível para os veículos Premium e Reserva é de 40.5 kW, excepto nas horas de produção solar que é 42.75 kW. Estes valores devem-se a política do sistema de só poderem ocupar 15% da potência, sendo que a potência total é de 270 kW e nas horas de sol é de 285 kW.

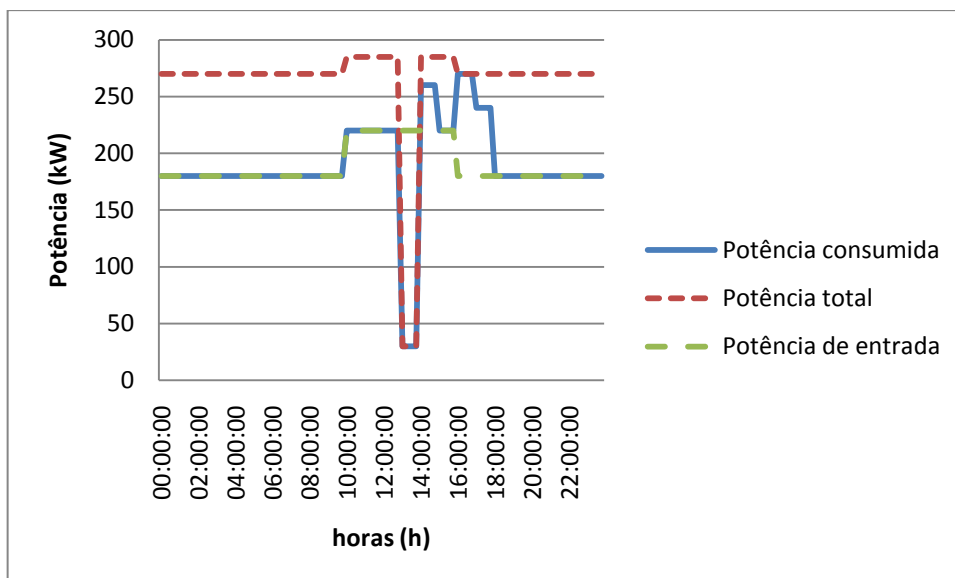


Figura 6-24 - Resultado da simulação

No gráfico apresentado pode-se observar que ocorreu uma quebra das 13h as 14h para os 30 kW. Como na simulação anterior o algoritmo respondeu suspendendo alguns carregamentos que de seguida foram compensados, quando o valor de energia voltou aos níveis normais.

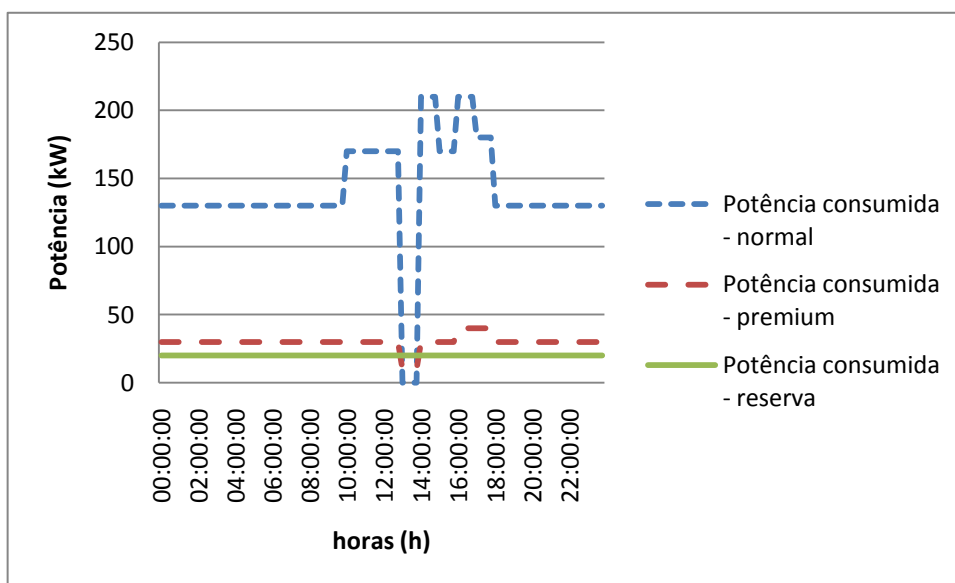


Figura 6-25 - Potência Normal - Premium - Reserva

Neste gráfico podemos observar que os primeiros a sofrerem com o impacto da quebra de energia foram os veículos do tipo Normal que viram a potência consumida descer para zero sendo todos os carregamentos “Normais” suspensos. Como isto não foi suficiente também alguns carregamentos tiveram de ser suspensos como se pode observar no gráfico o valor da potência consumida pelos Premium baixou para os 10 kW de forma a estabilizar o sistema. Os veículos que tinham estatuto de Reserva não sofreram qualquer tipo de consequência (o que corresponde às expectativas para as políticas definidas uma vez que os veículos Reserva poderão estar sujeitos a taxas adicionais pelas garantias que lhes são dadas e como tal serão aqueles que menores impactos deverão sofrer). Verifica-se também que o algoritmo fez o escalonamento dos veículos Normais da mesma forma que na simulação anterior através de dois “picos”; o primeiro corresponde aos veículos de carregamento rápido (14h) e o seguinte

ao dos carregamentos lentos (16h) pelas razões já explicadas anteriormente. Por sua vez no caso dos Premium, observa-se que a potência pretendida pelos eventos de carregamento criados no período da quebra é de 30kW e a potência consumida toma o valor de 10kW; logo, foram suspensos 4 turnos (corresponde a 1 hora) cada um com 20kW em “falta”. Apesar disto como a potência máxima que os Premium podem atingir após as 16h é de 40.5kW o algoritmo respondeu fazendo o escalonamento dos carregamentos em 8 turnos de 10kW entre as 16h e as 18h, devido a já estarem escalonados carregamentos no valor de 30kW entre as 16h e as 18h. Tal como nos “Normais”, a compensação só foi feita depois das 16h devido aos mesmos já estarem escalonados para carregar entre as 14h e as 16h.

Podemos concluir que o algoritmo se comportou como era esperado tanto a nível de prioridades, aos vários níveis Normais, Premium e Reserva, como também a nível de escalonamento.

6.2.2.3.3 - Quebra de energia que influencie todos os veículos

O objectivo deste teste é simular uma situação extrema em que todos os veículos sejam afectados. É de esperar que apenas alguns veículos com “Reserva” se encontrem em carregamento sendo os restantes suspensos. Os parâmetros de entrada serão os mesmos das simulações anteriores com a excepção de a potência cair para os 10kW durante a quebra de energia.

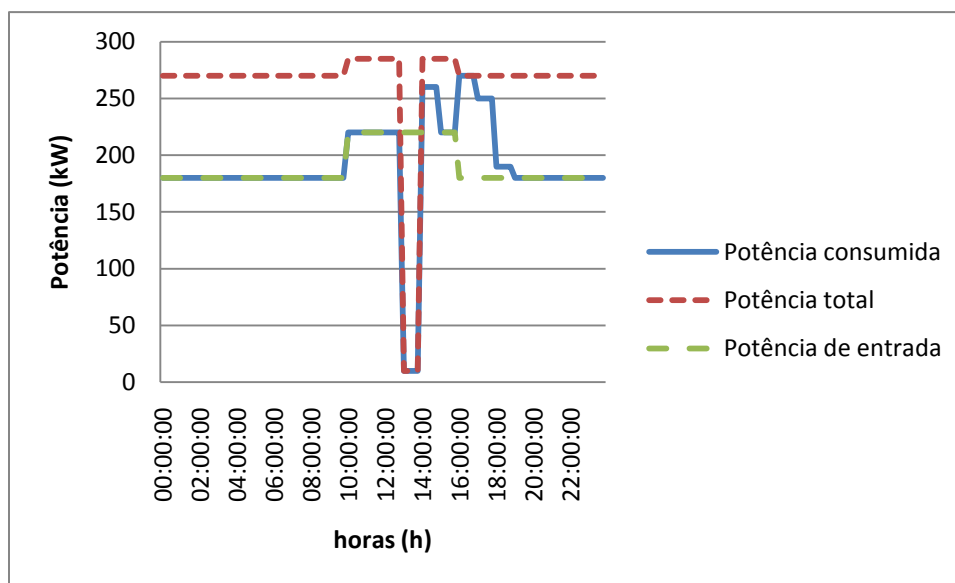


Figura 6-26 - Resultado da simulação

Tal como nas simulações anteriores verifica-se a quebra de potência das 13h as 14h em que a potência total disponível atinge os 10kW e a compensação dos veículos suspensos necessários para estabilizar o sistema nas horas seguintes.

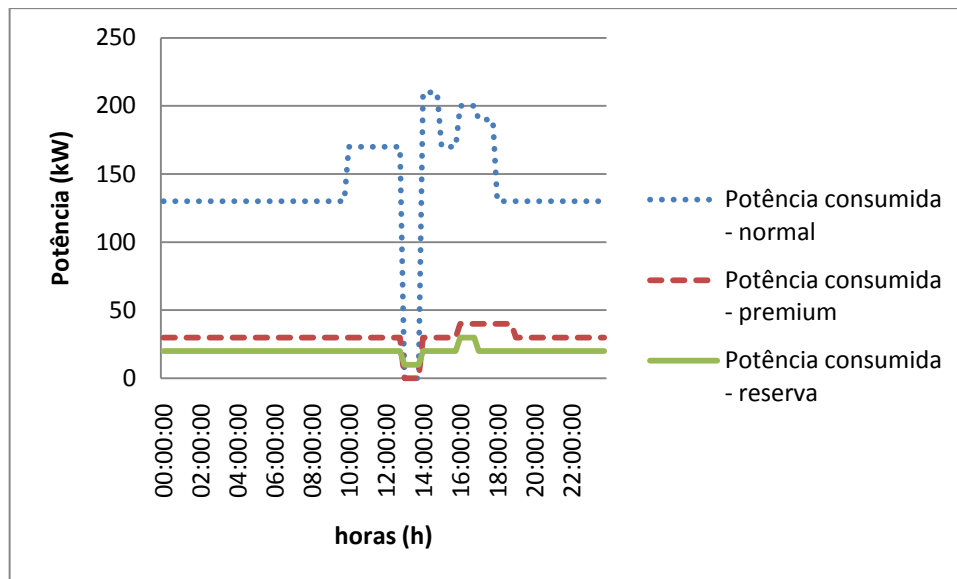


Figura 6-27 - Potência consumida

Observa-se que os veículos Premium e os Normais viram todos os seus carregamentos serem suspensos das 13h às 14h, como seria de esperar isto não foi suficiente e por isso os veículos com Reserva viram a sua potência consumida ser reduzida para metade, de 20 para 10 kW. O escalonamento dos pedidos de forma a satisfazer todos os clientes ocorreu da mesma forma que nos casos anteriores. No caso dos veículos com Reserva foram suspensos 4 carregamentos de veículos lentos, o que corresponde aos 10 kW, os mesmos foram compensados em 4 turnos das 16h as 17h tal como se pode observar na figura.

Depois deste teste podemos concluir que o algoritmo se comportou como era esperado. Aplicou as políticas implementadas de prioridade e fez o escalonamento.

6.2.2.4 - Conclusão

Após estes testes constatou-se que o algoritmo se comportou como era expectável. O algoritmo conseguiu adaptar-se às diversas condições colocadas nos testes, como falhas de energia e sobrecarga de pedidos, fazendo o escalonamento de forma a otimizar os recursos energéticos disponíveis e tendo em conta as políticas implementadas (e.g., tipo de cliente). Na próxima secção serão apresentados os resultados obtidos através de testes com parâmetros aleatórios, de forma a validar o funcionamento do algoritmo em situações imprevisíveis.

6.2.3 - Testes com parâmetros aleatórios

Nesta secção serão apresentados os testes obtidos através de simulações com parâmetros aleatórios.

6.2.3.1 - Teste com parâmetros aleatórios

Para a simulação do algoritmo com parâmetros aleatórios foi considerada a seguinte taxa de chegada:

Tabela 6.9 - Taxa de chegada de veículos

Horas:	Número de veículos Que chegam por hora
07h-08h	8
08h-09h	86
09h-10h	100
10h-11h	30
11h-12h	2
12h-13h	24
13h-14h	14
14h-15h	2
15h-16h	4
16h-17h	12
17h-18h	12
18h-19h	2

Pode-se observar na tabela a taxa de chegada de veículos que pretendem carregar. O tipo de cliente é distribuído de uma forma homogénea ao longo do tempo, sendo 5 % de Reserva, 10% Premium e os restantes pedidos Normais. A potência contratada ao operador é de 270 kW e a potência das fontes renováveis o valor de 15kW entre as 10h e as 16h, que corresponde a uma produção diária de 90kWh. O número de lugares de estacionamento utilizados nesta simulação é de 120. De seguida pode-se visualizar uma tabela com os resultados obtidos após a simulação.

Tabela 6.10 - Resultados obtidos após simulação

Tipo de cliente	Número de pedidos	Número de veículos que não arranjam lugar	Número de veículos que arranjam lugar	Quantidade pretendida (kWh) (total)	Quantidade obtida (kWh)	Percentagem (%) Obtida/total
Normal	239	45	194	3903.125	3581.25	92
Premium	20	0	20	385	385	100
Reserva	9	0	9	151.25	151.25	100

Como se pode observar na tabela, apenas os veículos “Normais” sofreram limitações devido aos recursos disponíveis. Nota-se que 19% deste tipo de veículos não conseguiram obter lugar de estacionamento, isto deve-se à política de prioridades implementada. Neste tipo de política os veículos Premium e Reserva tem prioridade em relação aos Normais.

Apesar de 19% dos veículos não terem sido aceites, apenas cerca de 8% da quantidade de energia não foi fornecida. Isto deve-se a influência do índice de lucro que faz a ordenação da fila de espera dos veículos “Normais”, resultando que os veículos que pretendam mais energia sejam servidos nos lugares disponíveis.

A tabela 6.11 seguinte apresenta o número de veículos que foram aceites, rejeitados pelo algoritmo durante a simulação. Além disso também indica o número de veículos que abandonaram as instalações antes do tempo previsto.

Tabela 6.11 - Número de pedidos rejeitados/aceites

Tipo de cliente	Número de rejeitados	Número de pedidos aceites totalmente	Número de pedidos aceites parcialmente	Número que abandonaram antes do tempo	Energia que não foi fornecida aos veículos que saíram mais cedo (kWh)
Normal	0	174	20	4	5
Premium	0	20	0	0	0
Reserva	0	9	0	0	0

A tabela apresentada reflecte a resposta do sistema aos pedidos de carregamento que são originados pelos veículos que conseguiram obter lugar para estacionamento. Podemos observar que apenas os veículos “Normais” obtiveram pedidos aceites parcialmente, que resulta de os veículos terem obtido lugar para estacionar já tarde e não terem tempo para completar o carregamento ou a não haver potência disponível para efectuar o carregamento completo. Todos os pedidos com reservas possuíam uma marcação prévia da mesma, com uma antecedência de pelo menos 4h, tendo sido todos aceites e na totalidade dos seus pedidos de energia.

De forma a poder-se compreender melhor a distribuição vai ser apresentada a próxima figura.

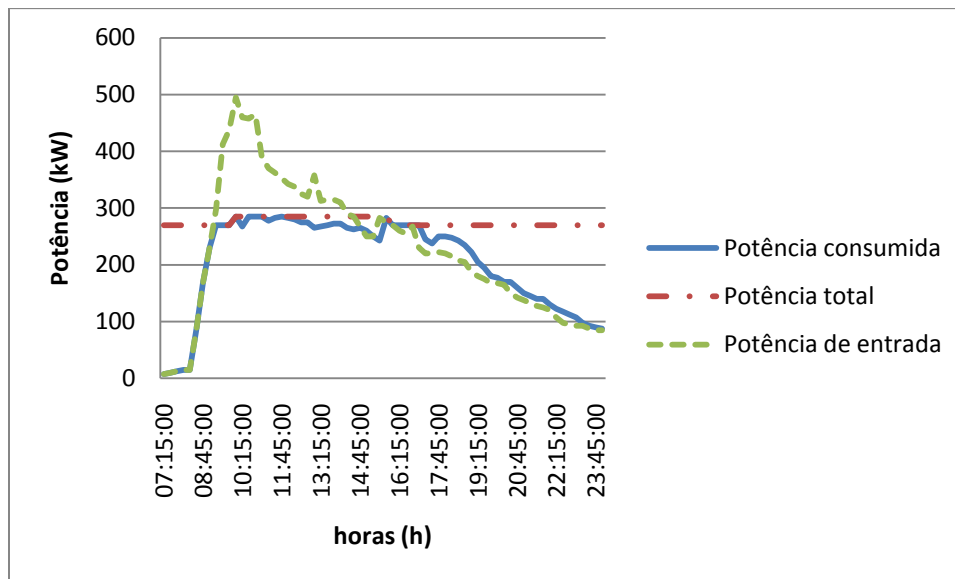


Figura 6-28 - Resultado da simulação - potência geral

Pode-se observar na figura que a potência de entrada (corresponde à potência pretendida pelos veículos) é superior a potência total do sistema (potência máxima possível de ser fornecida). Nota-se que a partir das 16h a potência consumida é superior à de entrada (mas obviamente inferior à potência disponível), isto deve-se ao escalonamento do algoritmo que tenta compensar a sobrecarga de energia que ocorreu entre as 9h e as 14h. De realçar que seria de esperar que entre as 9h e as 14h a potência consumida estivesse no valor máximo, contudo devido a limitação de 120 lugares tal não acontece, como se pode comprovar no gráfico da figura 6-29. De salientar ainda que para atingir a potência máxima são preciso 114 veículos em carregamento lento na hora de produção solar. Para isso vai ser apresentada uma nova simulação com 150 lugares disponíveis.

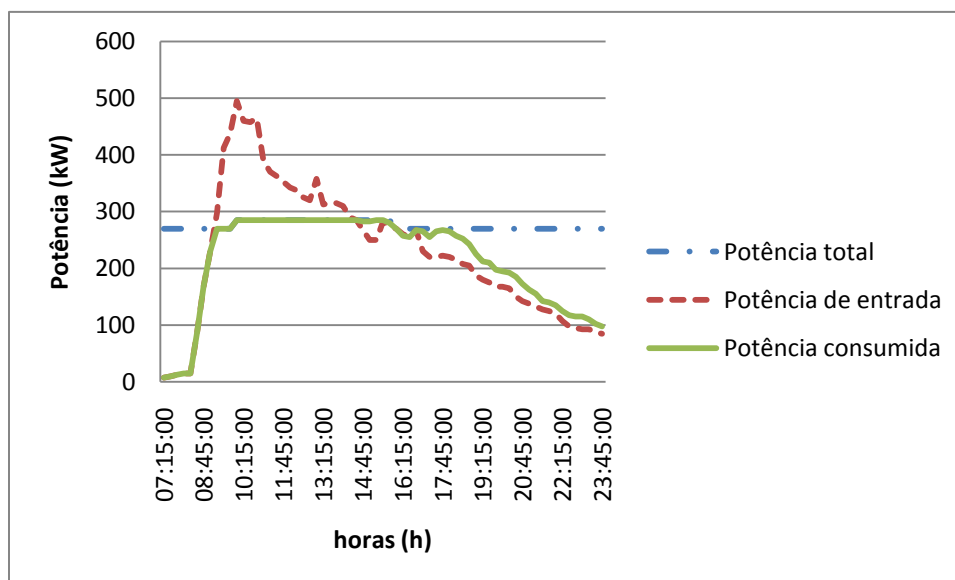


Figura 6-29 - Resultado da simulação com 150 lugares

Como se pode verificar com 150 lugares disponíveis, a potência consumida ocupa o valor máximo possível nas horas pico.

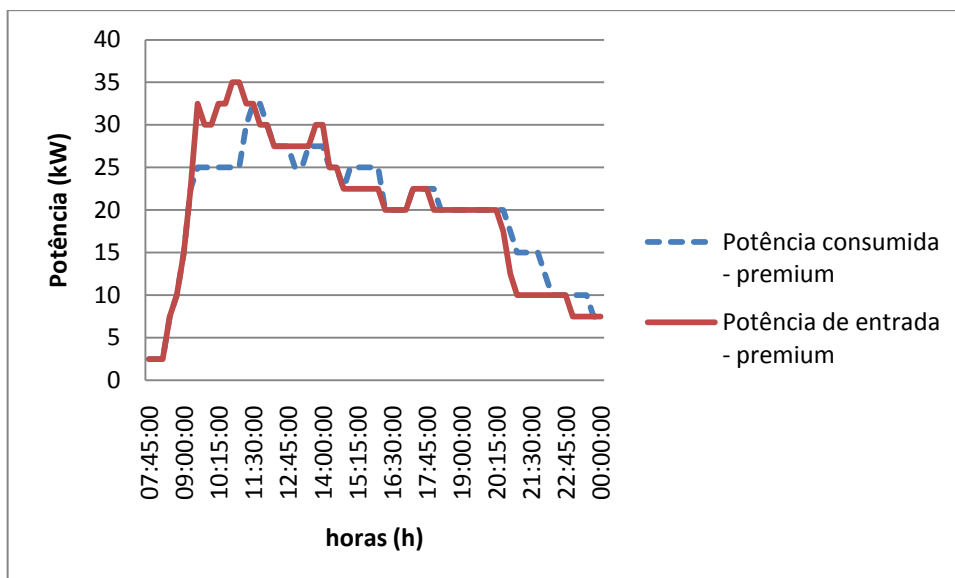


Figura 6-30 - Resultado da simulação Premium

Podemos observar na figura a potência de entrada e a consumida correspondente aos veículos Premium (para os 120 lugares). Como foi indicado anteriormente todos os pedidos Premium foram atendidos com uma taxa de 100%. Apesar da potência máxima para os Premium e Reserva andar na casa dos 40 kW e a potência de entrada máxima ser 35 kW os dois gráficos não se sobrepõem. Isto acontece devido ao intervalo de tempo entre as 9h e as 14h30 ser uma hora de sobrecarga do sistema, desta forma o algoritmo sem comprometer os carregamentos Premium (como se pode observar na taxa de 100%) desloca alguns carregamentos para poder suportar mais carregamentos “Normais” e aumentar a taxa de clientes satisfeitos.

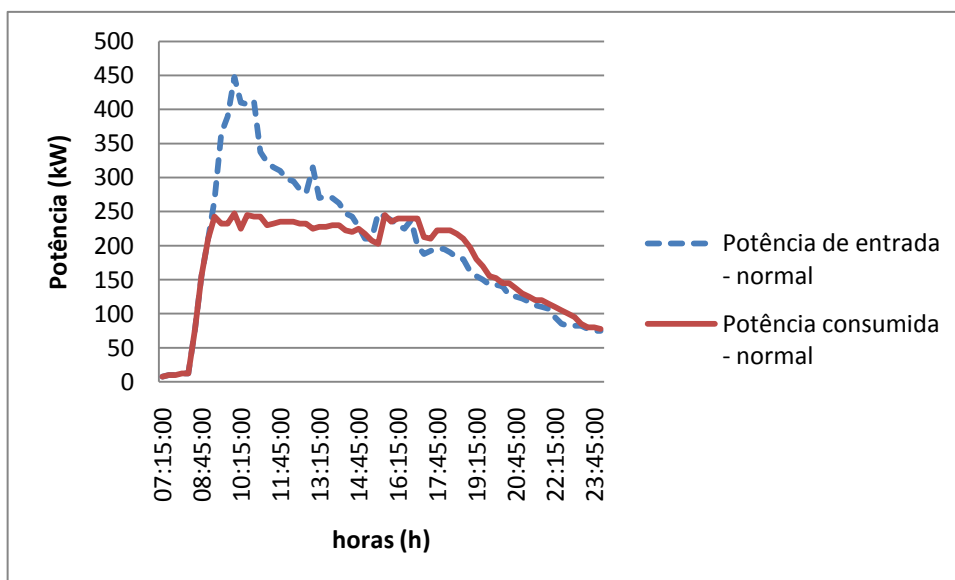


Figura 6-31 - Resultado da simulação - Normal

Na figura verifica-se que os veículos Normais foram os mais prejudicados em termos de pedidos insatisfeitos. Contudo devido a fila de veículos “Normais” ser ordenada através do índice de lucro e de existir limitação de lugares, o sistema conseguiu diferenciar os pedidos e aceitar nos lugares de estacionamento os que pretendiam mais energia. De realçar que os veículos só podem ocupar um lugar de estacionamento quando o pedido de carregamento é

aceite. Como se pode ver na tabela anterior 19% dos veículos “Normais” não arranjam lugar de estacionamento mas apenas cerca de 8% da quantidade de energia pretendida ficou por satisfazer.

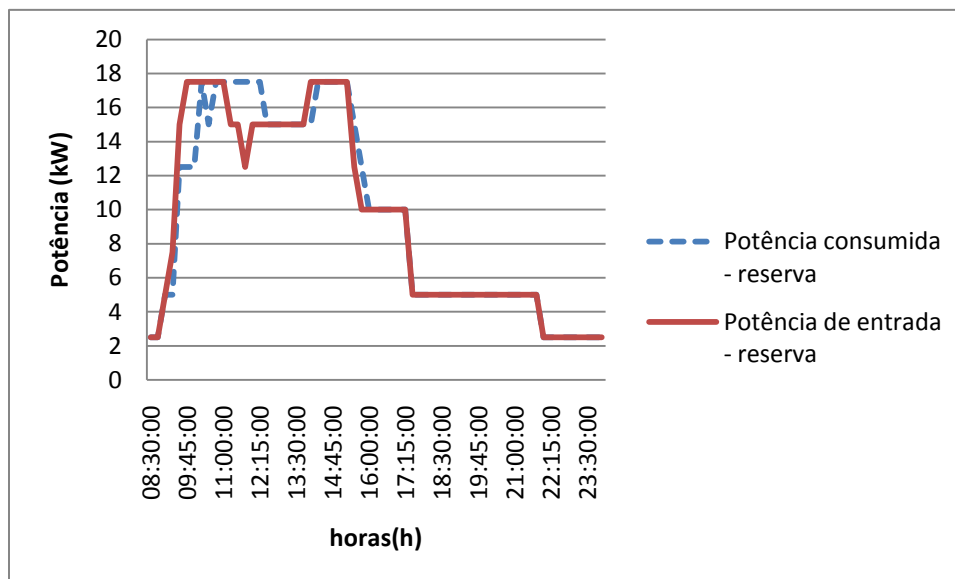


Figura 6-32 - Resultado da simulação - Reserva

Podemos constatar que para os veículos com estatuto de Reserva, existiu um escalonamento dos pedidos de forma a suportar os veículos “Normais” que se encontravam em sobrecarga (da mesma forma que tinha ocorrido com os Premium). Isto aconteceu sem comprometer os pedidos de Reserva que obtiveram uma taxa de 100% (como não podia deixar de ser visto que este é o nível ao qual são dadas mais garantias).

Pode-se concluir que o número de lugares disponíveis num parque de carregamento representa um impacto significativo no sistema e que a relação entre potência contratada e o número de lugares é de extrema importância. Não existe valor acrescentado em ter muita potência contratada e não ter lugares disponíveis para poder atingir essa potência e vice-versa. De realçar a importância da ordenação do índice de lucro quando existe limitação de lugares para desta forma se conseguir atribuir lugares aos veículos com maior índice para o sistema.

6.2.3.2 - Teste aleatório com quebra de energia

Neste teste pretende-se observar a política de prioridades implementada. Para isso vai ser simulada uma quebra de energia entre as 16h30h e as 17h30 para uma potência máxima disponível de 100 kW ao invés dos 270 kW habituais, os dados de entrada desta simulação são os mesmos da secção (6.2.3.1). Na tabela a seguir vai ser apresentada a diferença de energia que foi oferecida aos veículos com quebra e sem quebra, de forma a se verificar o impacto da falha de energia.

Tabela 6.12 - Resultado da simulação

Tipo de cliente	Quantidade obtida (kWh) sem quebra de energia	Quantidade obtida (kWh) com quebra de energia	Porcentagem (%) Quebra/sem quebra
Normal	3600.625	3535	98%
Premium	385	385	100%
Reserva	151.25	151.25	100%

Podemos observar na tabela que os veículos Normais foram os únicos a sofrerem o efeito da quebra de energia. Apesar disto o algoritmo fez o escalonamento dos carregamentos de forma a minimizar as consequências, obtendo-se uma taxa de 98% de energia fornecida aos veículos.

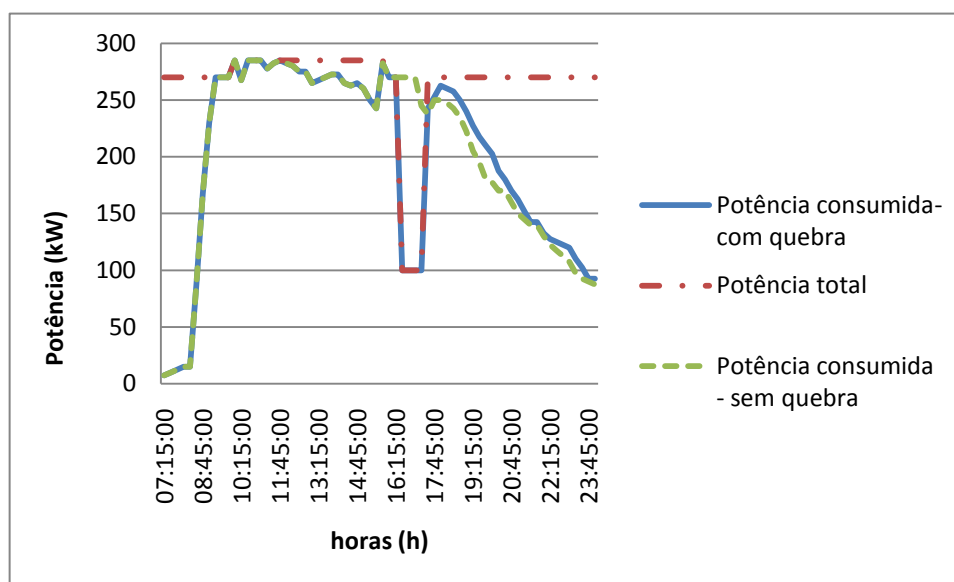


Figura 6-33 - Resultado da simulação com quebra/sem quebra de energia

Na figura 6-33 pode-se verificar a falha que ocorreu na potência total entre as 16h30 e as 17h30. Se comparamos os gráficos da potência consumida com e sem quebra de energia é observável que o algoritmo faz o escalonamento dos pedidos que foram suspensos na hora da quebra, devido a isto a potência consumida com quebra é superior a sem quebra, a partir das 17h30. De seguida será analisado o impacto da falha de energia nos diversos tipos de cliente.

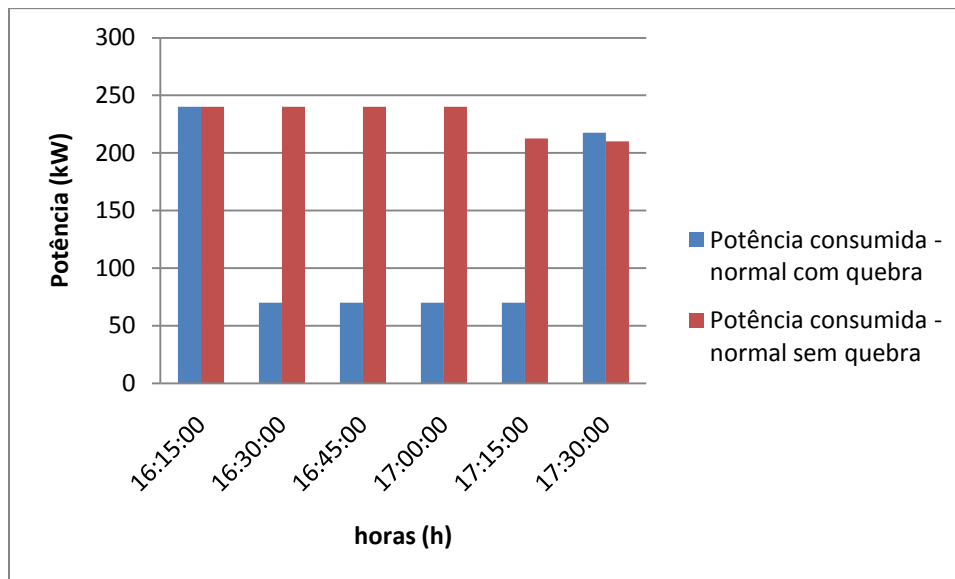


Figura 6-34 - Potência Normal com quebra e sem quebra

Como seria de esperar os veículos Normais são quem sofreram com a súbita quebra de energia tendo a potência que está a ser consumida diminuído consideravelmente, nota-se que no intervalo das 17h30 a compensação efectuada.

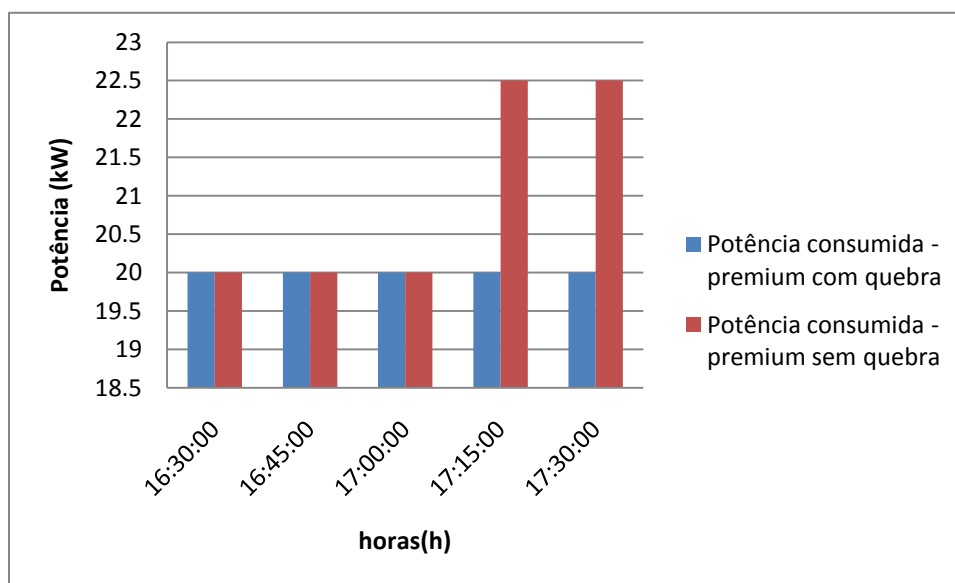


Figura 6-35 - Potência consumida com/sem quebra de energias - veículos Premium

Neste gráfico pode-se observar que a potência consumida pelos veículos Premium manteve-se constante ao longo da quebra entre as 16h30 e as 17h, já entre as 17h e as 17h30 a potência consumida na situação sem quebra de energia é superior no valor de 2.5 kW, que corresponde a um veículo de carregamento lento. Isto deve-se ao veículo ter dado entrada no sistema na hora em que ocorreu a quebra e ter-lhe sido atribuído outro horário. No gráfico apresentado a seguir pode-se ver quando é feita a compensação desses dois turnos.

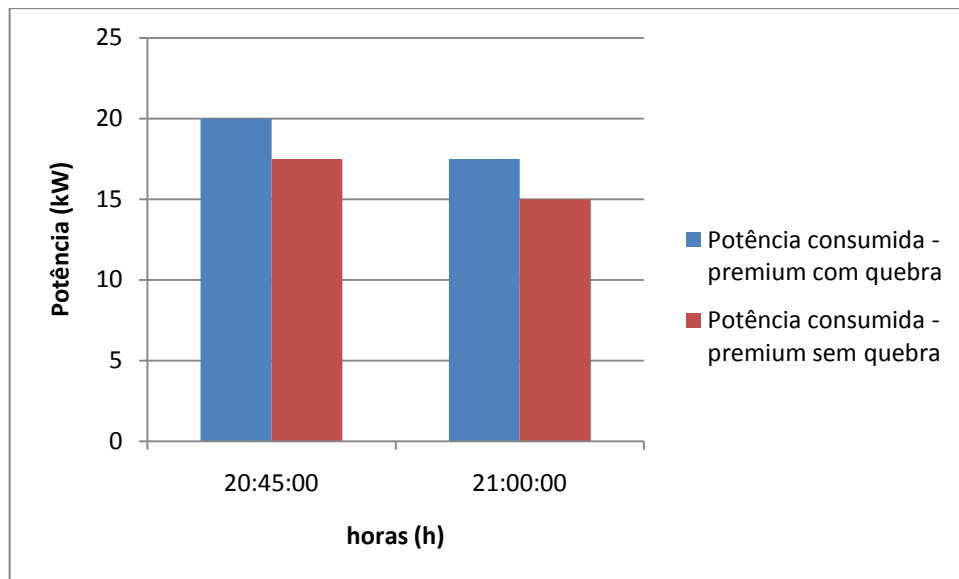


Figura 6-36 - Potência consumida - veículos Premium

Observa-se que a potência consumida com quebra de energia é superior à sem quebra, devido a compensação de 2.5 kW já referida anteriormente.

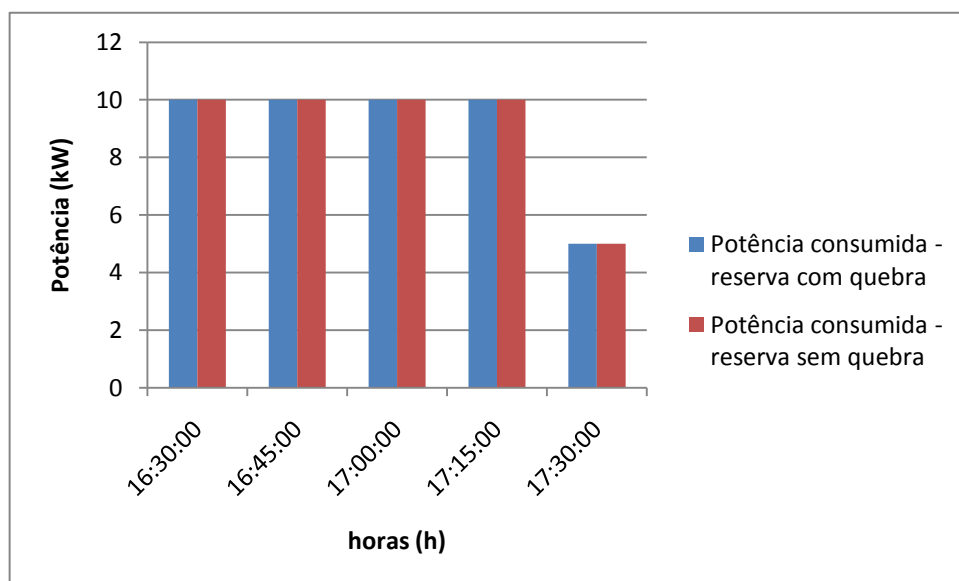


Figura 6-37 - Potência consumida com/sem quebra de energias - veículos Reserva

No caso da potência consumida dos veículos com estatuto de Reserva, esta manteve-se constante ao longo da quebra de energia, beneficiando do seu estatuto prioritário.

Pode-se concluir que o algoritmo se comportou como era esperado, ao baixar a potência total de 270 kW para 100 kW os veículos “Normais” foram os únicos prejudicados. Isto acontece devido aos Premium e os Reserva entre as 16h30 e as 17h30 terem uma potência máxima de 40.5 kW cada um com uma soma conjunta (Premium + Reserva) de 81 kW, valor que é inferior aos 100 kW de quebra. Desta forma consegue-se fornecer a respectiva prioridade aos veículos Premium e Normal.

6.2.3.3 - Teste aleatório com sobrecarga

Na tabela a seguir é apresentada a taxa de chegada de veículos usada nesta simulação, que é a tabela base multiplicada por “2.5” de forma a se obter mais 25% de chegada de veículos que nas simulações anteriores (que era multiplicado por “2”). De realçar que aparecem na tabela valores não inteiros que significam que o veículo pode chegar nessa hora ou na hora a seguir. O número de lugares neste caso também é acrescentado de 25% para 150 lugares.

Tabela 6.13 - Taxa de chegada de veículos

Horas:	Número de veículos Que chegam por hora
07h-08h	10
08h-09h	107.5
09h-10h	125
10h-11h	37.5
11h-12h	2.5
12h-13h	30
13h-14h	17.5
14h-15h	2.5
15h-16h	5
16h-17h	15
17h-18h	15
18h-19h	2.5

Na próxima tabela podemos observar o resultado da simulação, com a taxa de chegada de veículos especificada na tabela 6.13.

Tabela 6.14 - Resultado da simulação

Tipo de cliente	Número de pedidos	Número de veículos que não arranjam lugar	Número de veículos que arranjam lugar	Quantidade pretendida (kWh) (total)	Quantidade obtida (kWh)	Percentagem (%) Obtida/total
Normal	314	90	224	4870	4190.625	86
Premium	42	0	42	652.5	621.875	95
Reserva	25	0	25	381.875	375	98

Podemos observar na tabela que devido a política implementada de os veículos apenas ocuparem um lugar de estacionamento após aceitação do pedido de carregamento por parte do sistema os veículos “Normais” foram os mais prejudicados com a limitação de lugares. Isto deve-se ao algoritmo dar prioridade as filas de espera de Premium e Reserva sobre os

Normais. Na próxima tabela podemos observar o número de veículos que foram rejeitados, aceites totalmente e parcialmente.

Apesar da política das prioridades implementadas o algoritmo não conseguiu satisfazer todos os pedidos Premium e Reserva isto deve-se a limitação existente de 15% na Potência disponível, contudo foram os Normais que sofreram mais com a sobrecarga vendo 14% da energia pretendida não ser fornecida.

Observa-se que 29% dos veículos Normais não obtiveram lugar, no entanto devido a ordenação pelo índice apenas 14% da energia pretendida não foi fornecida.

Tabela 6.15 - Número de pedidos rejeitados/aceites

Tipo de cliente	Número rejeitados	Número de pedidos aceite totalmente	Número de pedidos aceite parcialmente	Número que abandonaram mais cedo as instalações	Energia que não foi fornecida aos veículos que saíram mais cedo (kWh)
Normal	0	188	36	6	25
Premium	1	39	2	2	6.25
Reserva	0	25	0	3	6.875

Podemos concluir da tabela que 3 veículos com reserva abandonaram mais cedo as instalações. A energia que lhe estava agendada tinha o valor de 6.875 kWh se observamos a energia que foi oferecida aos Reserva foi de 375 kWh e a pretendida de 381.875 kWh o que leva a concluir que a percentagem de satisfação não foi 100% devido aos clientes terem abandonado as instalações mais cedo do que estava agendado e não devido ao mau funcionamento do algoritmo. De realçar que o pedido Premium que foi rejeitado não ocupou um lugar de estacionamento. Os pedidos parciais resultam de os veículos obterem lugar já sem tempo para completar o carregamento ou devido a não haver potência disponível para lhes ser fornecida, o que também não corresponde a variáveis que o sistema de gestão de carregamentos consiga controlar. Os pedidos com reserva passaram previamente pelo controlo de admissão de reservas e todos foram aceites na totalidade. De seguida será analisado, através dos gráficos apresentados, o comportamento do algoritmo ao nível de distribuição da potência consumida pelos diversos tipos de clientes (Premium, Reserva, Normal).

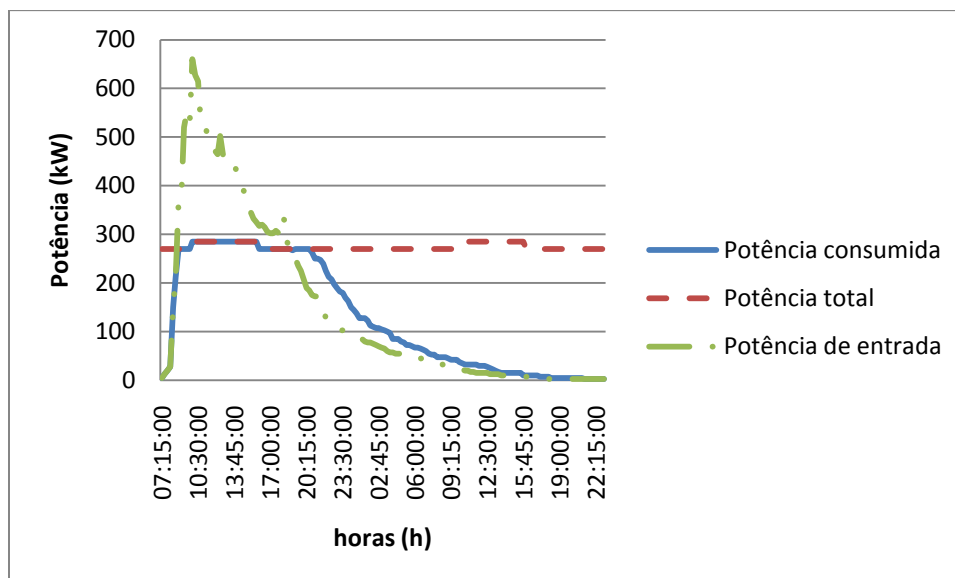


Figura 6-38 - Resultado da simulação

Podemos verificar no gráfico que com 150 lugares disponíveis a potência consumida está no máximo durante as horas de pico. De notar também a compensação efectuada após as 20h em que a potência consumida é superior a total. Neste gráfico a escala de horas foi aumentada para uma melhor percepção.

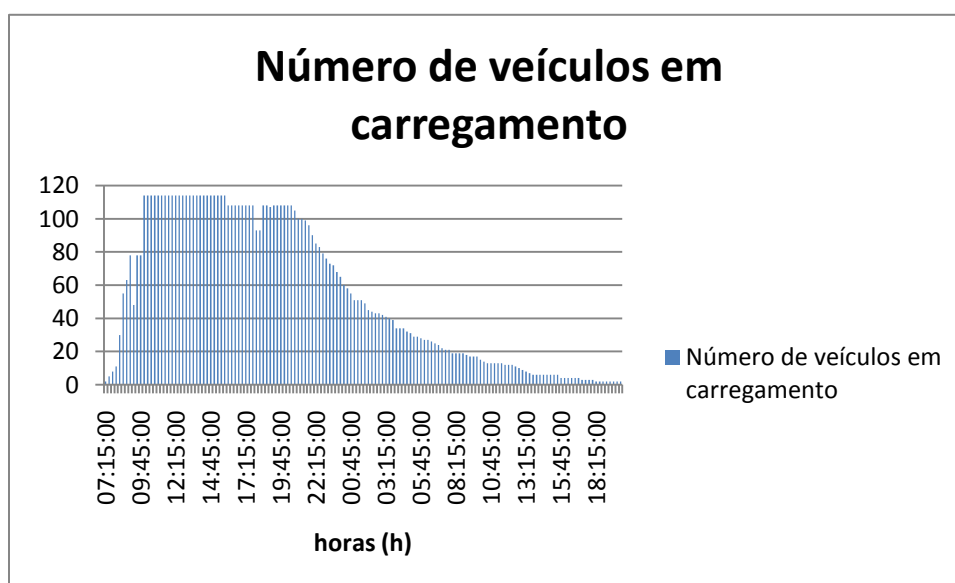


Figura 6-39 - Número de veículos em carregamento

Podemos observar que o número de veículos em carregamento nas horas de ponta, toma o valor de 114 que é o máximo de veículos que a potência disponível permite carregar, em carregamento lento.

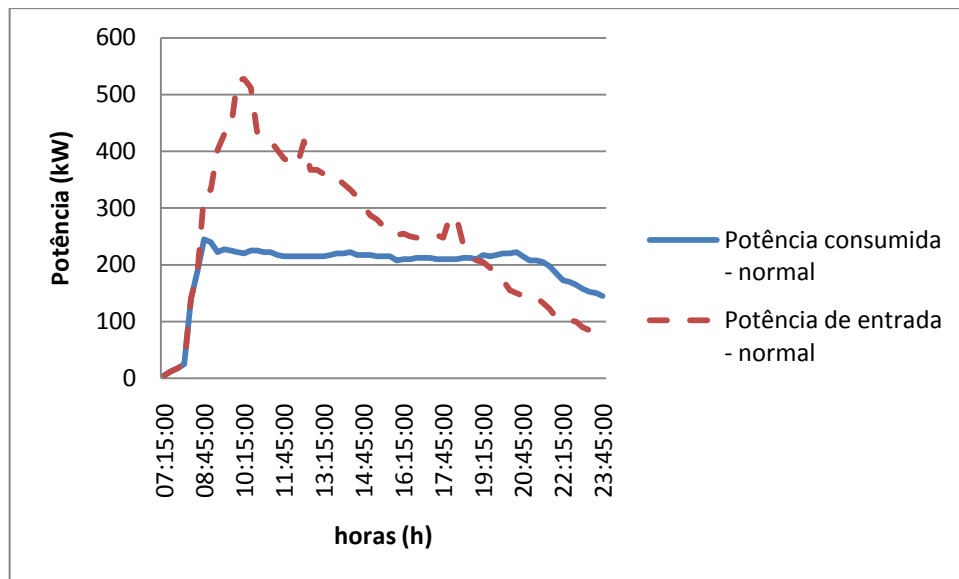


Figura 6-40 - resultado da simulação para veículos Normais

Nota-se que na hora de ponta (entre as 09h e as 19h) existe uma grande diferença entre a potência de entrada e a de consumida que se reflecte nos 14% de pedidos insatisfeitos e a respectiva compensação após as 19h.

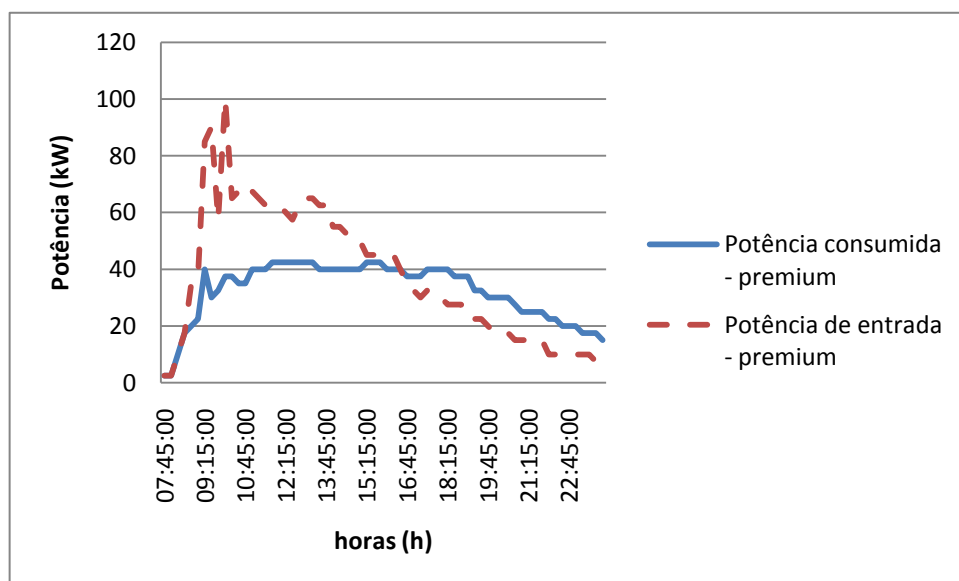


Figura 6-41 - resultado da simulação Premium

No caso dos veículos Premium, apesar de a potência de entrada ser superior a consumida entre as 9h e as 16h o sistema consegue recuperar e compensar após as 16h.

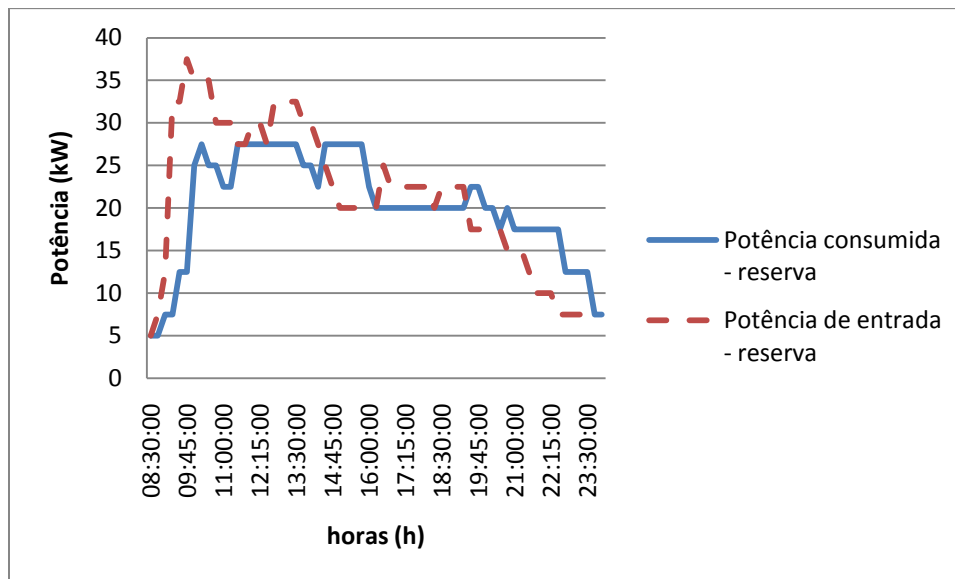


Figura 6-42 - Resultado da simulação - Reserva

No caso dos veículos com estatuto de Reserva pode-se observar que alguns turnos foram deslocados para compensar veículos Normais. De realce que os 6.875kWh que se observa na tabela 6.14 de diferença entre o pretendido pelos veículos e o que lhes foi fornecido, não se deve a falta de potência disponível mas sim a um ou mais veículos terem abandonado as instalações antes do tempo previsto não carregando desta forma totalmente os seus veículos. Como se observa no gráfico a potência de entrada nunca ultrapassa os 40kW que é o máximo disponível para os veículos com reserva.

Através dos testes apresentados, é possível constatar que o algoritmo, em cenários de sobrecarga elevada, consegue “proteger” os veículos prioritários. Apesar disso, a sua actuação mostra-se muito dependente dos dados fornecidos pelos utilizadores e o resultado final (satisfação completa dos pedidos dos utilizadores) depende de variáveis que o sistema não consegue controlar como é o caso de um utilizador retirar um veículo mais cedo do que o previsto.

6.2.3.4 - Teste aleatório com sobrecarga dos Premium e Reserva

Neste teste a taxa de veículos e o número de lugares é igual à simulação da secção 6.2.3.3 com a diferença que nesta simulação os Premium e Reserva representam 15% dos pedidos distribuídos de uma forma homogénea (ao longo do tempo) e os Normais 70%. Podemos observar na próxima tabela o resultado da simulação.

Tabela 6.16 - Resultado da simulação

Tipo de cliente	Número de pedidos	Número de veículos que não arranjam lugar	Número de veículos que arranjam lugar	Quantidade pretendida (kWh) (total)	Quantidade obtida (kWh)	Percentagem (%) Obtida/total
Normal	292	77	215	4040	3364.375	83
Premium	60	3	57	956.875	701.25	73
Reserva	56	0	50	869.375	740	85

Pode-se observar na tabela que o aumento da percentagem de veículos “Premium” e “Reserva” para 15% provocou um decréscimo na percentagem de pedidos satisfeitos dos mesmos. Isto deve-se ao facto dos veículos prioritários (Premium e Reserva) estarem limitados ao uso de 15% da potência total. De realçar, que apesar dos veículos Premium e Reserva terem sido rejeitados, os utilizadores caso assim o desejem podem fazer um novo pedido com um estatuto diferente - como por exemplo o estatuto de veículo Normal. Outra das opções é o utilizador ser encaminhado para outro parque que tenha recursos disponíveis. Importa realçar que dos veículos com reserva foram feitos 56 pedidos, mas devido a estes necessitarem de fazer uma pré-marcação com 4h de antecedência, 6 desses pedidos foram rejeitados, (não tendo requisitado um lugar de estacionamento). Podemos observar na próxima tabela a resposta do algoritmo às pré-marcações.

Tabela 6.17 - Resultado das pré marcações de reservas

Pedidos de reserva:	Número de pedidos rejeitados	Número de pedidos aceite (totalmente)	Número de pedidos aceite (parcialmente)
56	6	44	6

De realçar que dos 56 pedidos foram aceites 50, sendo que desse total 6 foram aceites parcialmente. Convém relembrar que o algoritmo apenas reserva os turnos que consegue atribuir na pré-marcação. Na próxima tabela (6.18) é possível observar que na altura da activação da reserva, dos 50 pedidos, 46 foram atendidos na totalidade (i.e., na totalidade em relação aos turnos reservados na pré-marcação, que nos casos dos pedidos aceite parcialmente na pré-marcação da reserva é diferente do que era pretendido pelos utilizadores), 2 foram atendidos parcialmente e 2 foram rejeitados. Estes 4 pedidos não foram atendidos na totalidade devido a terem arranjado lugar de estacionamento já depois da hora de início de reserva. No caso dos pedidos rejeitados, a causa da rejeição deveu-se a estes pedidos terem dado entrada no sistema quando faltavam menos de 15min para o fim da reserva, o que devido a periodicidade dos carregamentos implementados esses pedidos foram rejeitados (de salientar ainda que os dois veículos rejeitados só pretendiam 1 turno e como tal tinham pouca flexibilidade, devido ao curto tempo de carregamento que tinham reservado). Os 46 veículos aceites totalmente receberam a energia que tinha sido reservada (que é diferente da pretendida no caso dos pedidos parciais).

Tabela 6.18 - Número de pedidos rejeitados/aceites

Tipo de cliente	Número de rejeitados	Número de pedido aceite totalmente	Número de pedido aceite parcialmente	Número que abandonaram mais cedo as instalações	Energia que não foi fornecida aos veículos que saíram mais cedo (kWh)
Normal	1	167	47	7	37.5
Premium	9	46	2	0	0
Reserva	2	46	2	5	59.375

Podemos verificar que os veículos “Normais” apenas tiveram 1 pedido rejeitado. Salienta-se que esta tabela resulta dos pedidos efectuados por veículos que disponham de um lugar de estacionamento (antes da hora de saída definida pelo utilizador expirar). Em resultado disso,

grande parte dos pedidos parciais ocorrem devido aos veículos estarem pendentes na fila de espera à espera de um lugar e quando o mesmo se encontra disponível já não têm tempo para fazer o carregamento completo.

Dos dados apresentados conclui-se que os pedidos Premium foram os mais prejudicados. Isto aconteceu devido aos pedidos Premium terem picos de potência pretendida muito altos como se vai poder observar no gráfico 6.45.

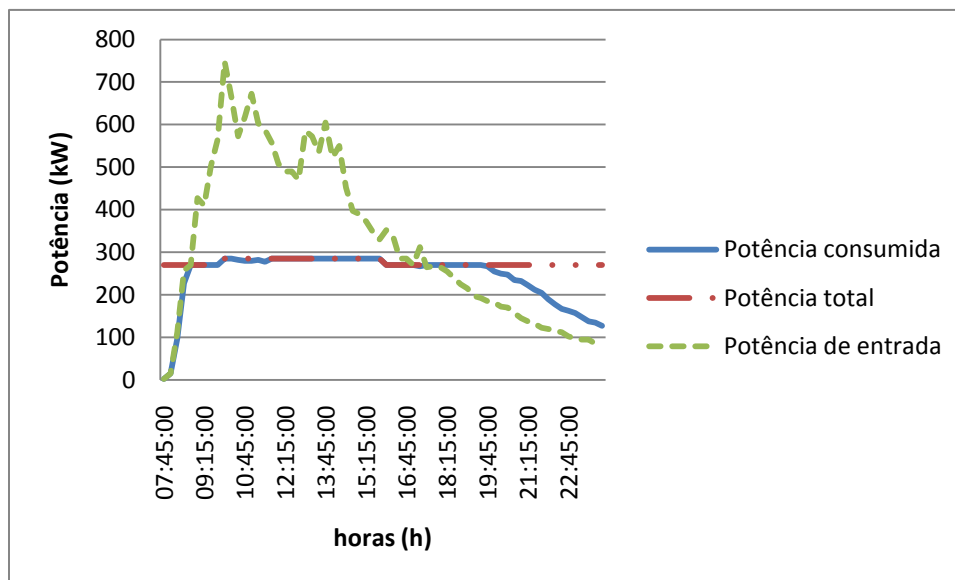


Figura 6-43 - Resultado da simulação

Este gráfico é semelhante ao da simulação anterior. Nele é evidente a sobrecarga de pedidos e a respectiva compensação. Observa-se que até por volta das 19h30 a potência consumida esteve no máximo, não havendo potência disponível. Nota-se que após as 18h existiu “compensação”, sendo a potência consumida superior à de entrada.

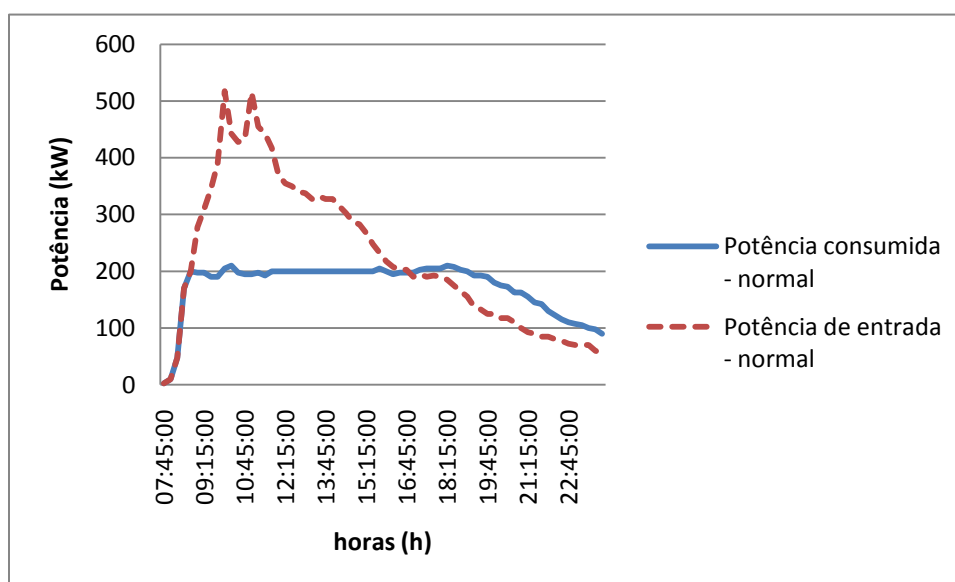


Figura 6-44 - Resultado da simulação - veículos Normais

Neste gráfico a potência consumida pelos veículos Normais andou na casa dos 200kW. Nota-se que até as 16h encontrou-se nos 200kW pois corresponde aos 70% da potência total nas horas de produção solar (10h-16h), entre as 16h e as 19h aproximadamente verifica-se

que a potência passa os 200kW, o que nos leva a concluir que os Premium ou Reserva não estão a usar os 15% correspondentes, estando a usar menos do que lhe está estabelecido (15%) permitindo desta forma que os veículos com estatuto Normal utilizem essa Potência disponível. A razão para os veículos com estatuto de Reserva não estarem a utilizar toda a potência disponível vai ser analisada no gráfico 6.46. A energia correspondente aos 70% para Normais fora das horas de ponta é de 190kW. Nota-se também a compensação que ocorreu depois das 16h30 em que a potência consumida é superior à de entrada.

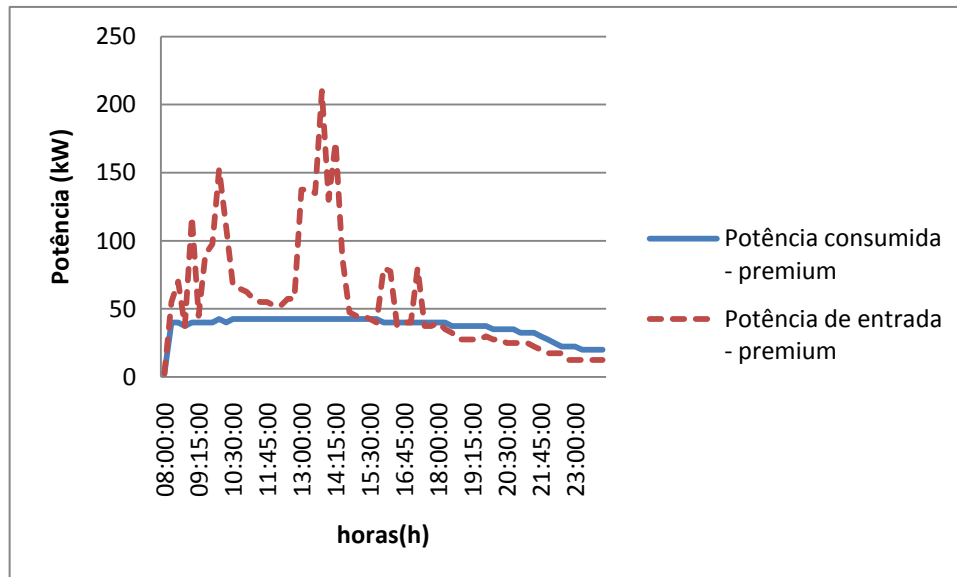


Figura 6-45 - Resultado da simulação - veículos Premium

Pode-se verificar que a potência de entrada atingiu valores acima de 200kW, enquanto o máximo disponível é da ordem dos 40kW. Do gráfico apreende-se que os Premium foram os mais prejudicados como já se tinha verificado na tabela inicial. Contudo como se consegue comprovar a potência consumida andou sempre na casa dos 40kW e a partir das 18h houve compensação de alguns turnos, sendo a potência consumida superior à de entrada.

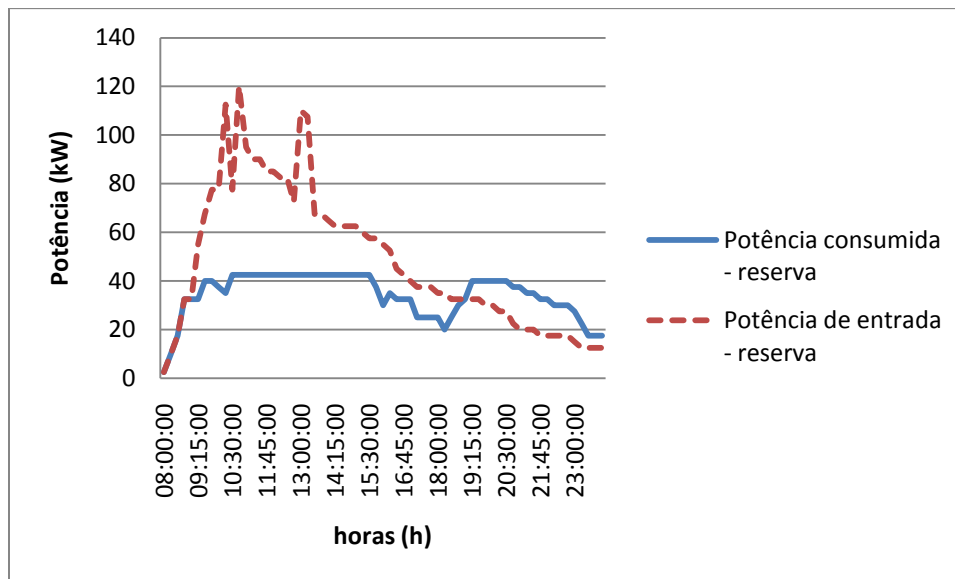


Figura 6-46 - Resultado da simulação - veículos Reserva

Tanto no caso dos veículos do tipo Reserva como Premium, os gráficos indicam que a potência consumida rondou os 40 kW nas horas de não produção de energia de fontes renováveis e pelos 42.5kW nas horas de produção solar entre as 10h e as 16h. Ambos os valores correspondem aproximadamente aos 15% da potência disponível, que é de facto o valor máximo permitido pela política que foi implementada para estes tipos de veículos. No entanto, o pico máximo foi de 120kW (figura 6-46) ao contrário do Premium que foi de mais de 200kW (figura 6-45). Sendo esta uma das razões pela qual os veículos com estatuto de Reserva apresentarem melhores resultados (85% de energia fornecida) que os Premium (73% de energia fornecida) nesta simulação, devido aos Premium pretenderem uma grande quantidade de potência no mesmo espaço de tempo, não sendo possível escalonar todos os pedidos. De realçar que entre as 15h30 e as 19h era de esperar que a potência consumida pelos veículos com estatuto de Reserva andasse perto dos 40 kW. Tal não se verificou devido ao facto dos veículos Reserva que chegaram depois da hora de início de reserva (por não terem arranjado lugar de estacionamento mais cedo) e também devido aos 5 veículos “Reserva” que abandonaram mais cedo as instalações (tab.6.18). Este facto (veículos terem abandonado mais cedo as instalações) levou a que não lhes tenha sido fornecida cerca de 59.375 kWh aos veículos Reserva, que estavam previamente agendados. Por outro lado, a potência disponível libertada pelos veículos com estatuto de Reserva que saíram mais cedo e pelos que chegaram depois da hora de início, acabou por ser aproveitada pelos veículos Normais como também se pode observar no gráfico 6-44.

A figura 6.47 ilustra a diferença entre o planeamento agendado para os veículos com estatuto de “Reserva” (na altura da pré-marcação da reserva) e aquele que foi realmente executado. A diferença visível no gráfico entre as 09h30 - 10h30, onde a potência consumida é inferior a agendada, deve-se ao facto de os pedidos de veículos com Reserva entre as 9h30 e as 10h30 terem sido servidos noutra horário (porque as horas de saída dos veículos Reserva o permitiam) de forma a poder atribuir turnos aos veículos Normais, sem por em risco os carregamentos dos veículos Reserva.

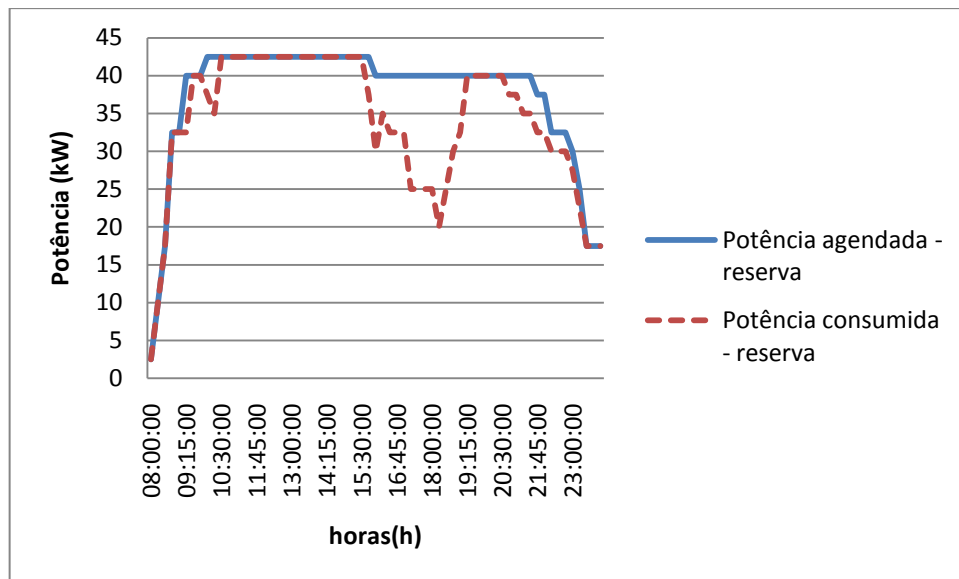


Figura 6-47 - Potência consumida - agendada

O resultado do gráfico indica que o módulo de admissão das reservas funcionou correctamente na medida em que apenas foram rejeitados pedidos devido a não haver potência disponível para os satisfazer, como se pode observar na figura 6-47 a potência agendada tem o valor de 40kW e 42.5kW (nas horas de produção solar) que é o máximo permitido pela limitação de 15% dos recursos energéticos. O impacto causado pelos utilizadores que abandonaram mais cedo do que era esperado as instalações (variável que o sistema não consegue controlar) e dos que arranjam lugar de estacionamento após o início da reserva está bem patente no gráfico (i.e., das 15h30 as 19h e das 20h30 as 22h30) ainda que essa energia tenha acabado por ser usada pelos veículos do tipo Normal.

Através deste teste realizado pode-se concluir que para manter a taxa de veículos Premium e Reserva de pedidos satisfeitos perto dos 100% é necessário que o limite de máxima potência disponível para estes seja superior à percentagem esperada de veículos prioritários. Como acontecia nas simulações anteriores, outra possível solução é os prioritários não terem limite mas isto levava a estagnação de pedidos Normais. O ajuste adequado destes valores poderá ter de ser estudado caso a caso, visto que as realidades dos parques de diferentes organismos e instituições poder ser consideravelmente heterogéneo. Por outro lado, é possível que em alguns casos os factores que ditam as políticas adoptadas não sejam ditados pela optimização de satisfação do número máximo de utilizadores mas antes por regras internas (e.g., os veículos Premium pertencem aos administradores e tem uma potência reservada de x% do total gozando ainda de prioridade máxima). Ainda relativamente a esta situação, seria interessante estudar o efeito das variações de pedidos quando os veículos Premium e de Reserva têm lugares atribuídos pelo sistema que lhes ficam reservados, sendo os Normais aqueles que sofrem potenciais ajustes (este estudo seria trabalho futuro).

6.2.3.4.1 - 2º Método de atribuição de recursos - Reserva

Nas simulações efectuadas usou-se o módulo representado pela figura 5-12 (este módulo impõem as prioridades dos veículos prioritários sobre os Normais, suspendendo carregamentos Normais de forma a atribuir recursos aos prioritários tendo em conta a limitação de 15% de energia que são atribuídos aos prioritários), como última fase no processo de atribuição de turnos para veículos prioritários (Premium e Reserva). Isto significa que o algoritmo caso existam veículos Normais a carregar na parte de energia atribuída aos prioritários (15% dos

recursos energéticos) por num determinado momento haver disponibilidade, apenas suspende estes carregamentos se não for possível atribuir todos os turnos pretendidos pelos veículos prioritários. Desta forma o algoritmo pode adiar alguns carregamentos de veículos prioritários para poder satisfazer pedidos Normais (sem por em risco o carregamento dos veículos prioritários).

Nesta secção pretende-se apresentar outro método de atribuição de recursos aos veículos prioritários mais especificamente aos Reserva, devido a estes possuírem características diferentes dos Premium como o controlo de admissão onde os utilizadores tem de efectuar a reserva com 4h de antecedência. Este método que se designa por “método 2” para uma diferenciação do usado ao longo das simulações anteriores (método 1) difere de o algoritmo utilizar o módulo da figura 5-12 como primeira fase da atribuição de recursos aos veículos com Reserva. Isto reflecte-se que o algoritmo suspende de imediato os veículos Normais presentes no espaço atribuído aos Reserva (15% da energia), desta forma os pedidos Reserva são imediatamente satisfeitos não sendo adiados (dentro do tempo de permanência que indicaram) de forma a ser possível servir alguns Normais como no método 1.

No próximo gráfico pode-se verificar a diferença entre a potência agendada/consumida no caso de o sistema usar o método 2.

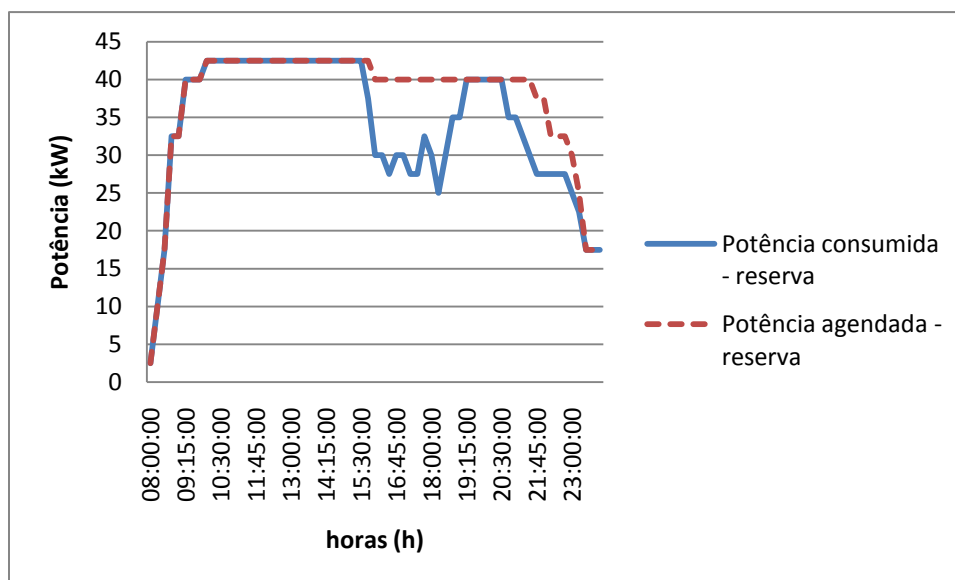


Figura 6-48 - Potência consumida/agendada

Neste caso, em que o algoritmo procede à libertação dos recursos ocupados pelos veículos Normais (que estejam nos 15% correspondente aos Reserva) no início da atribuição de turnos, verifica-se que entre as 9h30 - 10h30 os gráficos vão coincidir (o que não acontecia com o método 1 como se pode ver na figura 6-47). No caso da figura 6-47 o algoritmo não suspendia esses veículos Normais, porque conseguia servir os Reserva noutros turnos. De realçar que a energia oferecida nestes dois cenários (representados nas figuras 6-47 e 6-48) aos veículos com Reserva foi a mesma (740kWh). O que variou foi as horas em que essa energia foi oferecida como se pode observar no próximo gráfico 6-49.

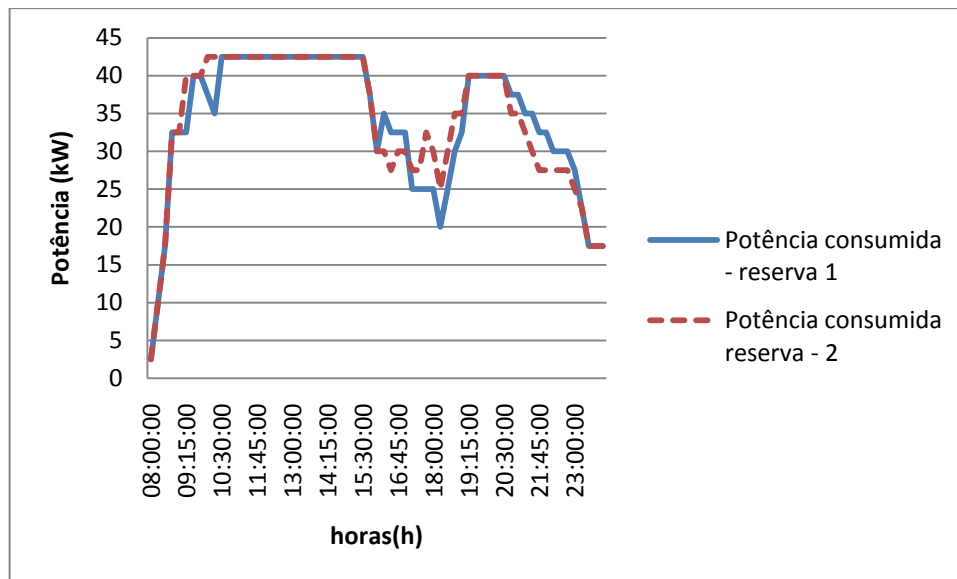


Figura 6-49 Potência consumida método 1/2

Neste gráfico observa-se a diferença entre o método 1 (usado na figura 6-47 em que o algoritmo tenta satisfazer os pedidos Reserva e só se não conseguir atribuir todos os turnos suspende os veículos Normais necessários que estejam a ocupar os 15% de recursos energéticos atribuídos aos Reserva, neste caso o algoritmo adia esses Pedidos Reserva de forma a servir os Normais) e o método 2 (figura 6-48 em que o algoritmo suspende de imediato os veículos Normais que estejam a ocupar os 15% correspondente aos Reserva, servindo o mais cedo possível os pedidos Reserva). Na figura 6-49 pode-se observar que entre as 9h30 - 10h 30 e 17h - 19h aproximadamente a potência oferecida aos veículos Reserva no método 2 é superior, já entre as 16h - 17h e entre as 20h - 23h a potência oferecida pelo método 1 é superior. Nota-se que o algoritmo no caso do método 1 atribuiu a diferença registada (entre os dois métodos) entre as 9h30 - 10h30 e 17h - 19h aos veículos Normais e compensou os Reserva entre as 16h - 17h e as 20h - 23h. No caso do método 2 os veículos Normais (que estavam escalonados entre as 9h30 - 10h30 e 17h - 19h) foram suspensos e esses recursos energéticos foram imediatamente atribuídos aos Reserva.

A utilização do método 1 ou 2 depende sobretudo da política implementada pela entidade responsável pelo parque já que nas simulações efectuadas, quer o método 1 quer o 2 oferecem garantias de 100% de satisfação dos pedidos de Reserva. De facto, a maior diferença ocorre se o utilizador sair mais cedo que o previsto. Ao passo que o método 2 procura atender o pedido de Reserva assim que o utilizador chega ao local (suspendendo utilizadores Normais se necessário), ao passo que o método 1 procura satisfazer o máximo de pedidos. Assim, ao passo que num caso pode haver alguma flexibilidade nos veículos prioritários a favor dos Normais (método 1) no noutro caso (método 2) os prioritários são imediatamente servidos. Em cenários que se verifiquem uma forte adesão de pedidos de reservas e se pretenda uma ocupação efectiva de 100% dos máximos que as reservas podem usufruir (para maximizar o lucro), o método 2 mostra-se mais adequado na medida em que é mais rígido na gestão das reservas, procurando garantir que elas são sempre atendidas no início do seu tempo de permanência no local de forma a suportar o máximo de reservas possíveis. Este método traz obviamente implicações para os veículos Normais e poderá trazer também um impacto maior no número de clientes satisfeitos, embora possa satisfazer melhor os interesses económicos do operador. Surge também a possibilidade de se implementar um método para os veículos Reserva e outro para os Premium (ou para outro tipo de clientes que se queiram implementar)

já que o algoritmo foi desenvolvido para ser completamente flexível. Convém ainda realçar que neste teste a energia oferecida pelos dois métodos aos veículos com estatuto de Reserva foi a mesma

6.2.3.5 - Conclusão

Depois de realizados estes testes com parâmetros aleatórios pode-se concluir que os veículos Premium e Reserva conseguem ser mais consistentes nos carregamentos e sentem menos impacto quando há variações bruscas de energia. Contudo devido a limitação de 15% que estão sujeitos os Premium e os Reserva é necessário que a percentagem média de energia pretendida pelos veículos Premium e Reserva seja inferior a esse limite. De realçar que a Potência contratada tem de estar em sincronia com o número de lugares disponíveis para o efeito, caso contrário pode não haver lugares disponíveis para se atingir a potência máxima contratada.

Capítulo 7

Conclusão

Os veículos eléctricos para serem adoptados em massa como uma alternativa aos veículos de combustíveis fósseis necessitam de uma estrutura de apoio que permita eliminar a principal desvantagem que apresentam comparativamente aos anteriores, que é a menor autonomia devido à actual tecnologia usada nas baterias.

Usando técnicas de gestão da rede eléctrica como é o caso da V2G (Vehicle to grid) é possível carregar os veículos usando o excesso de produção das energias renováveis na hora de vazio e injectá-la nas horas em que ela é mais precisa, trazendo não só vantagens económicas aos utilizadores mas permitindo também melhorar o ambiente com uma melhor exploração da produção de energias limpas em vez de energias poluentes.

O avanço tecnológico nos veículos eléctricos irá possibilitar aos utilizadores conhecerem os postos de carregamento mais próximos, planearem a viagem e fazerem reservas nesses mesmos postos de carregamento, recorrendo às tecnologias de informação e comunicação suportadas pela Internet.

Nesta dissertação pretendeu-se desenvolver um algoritmo de um sistema de gestão com suporte para multi-utilizadores que efectue a gestão da rede eléctrica local distribuindo os recursos energéticos disponíveis de acordo com as necessidades dos utilizadores (energéticas) e respeitando as condicionantes e prioridades impostas por um administrador - como é o caso dos clientes do tipo Premium, do número de lugares livres e dos clientes que possuem marcação de reserva. O sistema desenvolvido provou ser capaz de escalonar os pedidos em situações normais e em períodos de sobrecarga energética, optimizando não só o número de utilizadores atendidos mas maximizando também a distribuição de energia, adaptando-se dinamicamente a falhas de energia que possam ocorrer.

Através de fontes renováveis que sejam instaladas no local, o sistema consegue utilizar essa energia “verde” disponibilizando-a aos veículos. Esse aproveitamento permite, ao mesmo tempo, baixar o custo do preço da energia para o utilizador uma vez que combina o preço oriundo do operador eléctrico contratado e o preço da energia renovável (que contempla apenas a amortização do investimento no equipamento). Como o preço da energia da rede eléctrica têm variações ao longo de um dia, essa informação é disponibilizada ao utilizador permitindo-lhe assim escolher a hora em que pretende efectuar o carregamento, estando obviamente sujeito a possíveis escalonamentos que o sistema seja obrigado a fazer.

Das simulações efectuadas para validar o algoritmo pode-se salientar que: i) o “índice de lucro” usado para fazer a ordenação da fila de espera dos veículos sem prioridades (ditos “Normais”), permite que os clientes que apresentem mais lucro para o sistema sejam os primeiros a ser atendidos - este índice mostrou-se benéfico em situações em que exista limitação de lugares escalonando primeiro os veículos com maior índice; ii) a política de prioridade dos veículos “Premium” e “Reserva” sobre os “Normais”, em casos de falha de energia e em casos de sobrecarga do sistema funciona correctamente; iii) identificou-se a necessidade de existir sincronia entre o número de lugares livres e a potência disponível de forma a não ocorrer situações em que não se atinge a potência máxima em distribuição de energia devido a limitações de lugares.

A realização deste trabalho apresentou alguns desafios, nomeadamente na escolha da linguagem/simulador a ser usada para a implementação do algoritmo. Foram estudados e testados os simuladores NS2 e NS3, mas devido ao elevado *overhead* de aprendizagem associado a estes simuladores e uma vez que o principal foco era o desenvolvimento do algoritmo optou-se por fazer um simulador por eventos a partir da linguagem JAVA. Esta selecção poderá vir ainda a apresentar vantagens numa possível implementação real do sistema, comparativamente a outras alternativa estudadas (e.g., NS2).

Apesar dos objectivos propostos para esta dissertação terem sido atingidos, identificaram-se alguns tópicos para trabalho futuro, tais como: a implementação do módulo de venda de energia, que permita aos utilizadores injectar energia na rede; dotar os veículos de um agente que receba todas as indicações relativas a custos, tempo de carga, etc. e que age em prol dos objectivos do utilizador (e.g. efectuar a gestão de quando injecta energia na rede ou armazena energia nas baterias) e que se coordena com o agente gestor do sistema de carregamento de forma a defender os interesses do condutor; habilitar o utilizador de ter acesso a um mapa do local para que o sistema seja capaz de indicar os lugares livres e poder efectuar uma marcação de reserva de lugares específicos, avaliar o impacto das comunicações no sistema a nível de falha/perda de mensagens. Também é interessante dar a oportunidade ao utilizador de escolher o fornecedor de energia; permitir aos utilizadores a opção de carregarem apenas com energias renováveis - alguns utilizadores podem querer optar por esta opção por que é uma energia “verde” ou pelo preço, que em princípio poderá ser mais barato (e.g., considerando apenas a amortização do investimento do sistema de produção de energia renováveis indo o operador do parque buscar o retorno ao fornecimento do serviço) mesmo correndo o risco de não receberem energia.

Salienta-se ainda que o trabalho aqui apresentado é inovador no sentido em que, tanto quanto o autor tem conhecimento, não existem sistemas deste género e surge num momento de a grande aposta dos governos em energias renováveis e em veículos eléctricos.

Referências

1. EuroNews. *Electric car recharging deal for Portugal*. 2009 [cited 2009 6 of Dezembro]; Available from: <http://www.euronews.net/2008/07/09/electric-car-recharging-deal-for-portugal/>.
2. Diário da República, *Decreto-Lei n.º 39/2010*. 2010.
3. betterplace. *the global provider of EV networks and services*. [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.betterplace.com/>.
4. MOBIE. *Mobi.E - Mobilidade Eléctrica . Recharging Portugal* 2010 [cited 2010 25 of January]; Available from: www.mobi-e.pt/.
5. Sunshine, J. *What Are the Different Types of Electric Motors?* 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.wisageek.com/what-are-the-different-types-of-electric-motors.htm>.
6. Gulhane, V., M.R. Tarambale, and Y.P. Nerkar. *A Scope for the Research and Development Activities on Electric Vehicle Technology in Pune City*. in *Electric and Hybrid Vehicles, 2006. ICEHV '06. IEEE Conference on*. 2006.
7. EDP. *Veículos Eléctricos*. 2009 [cited 2009 6 of Dezembro]; Available from: <http://www.edp.pt/pt/sustentabilidade/ied/wattdrive/veiculoselectricos/Pages/VeiculosElectricos.aspx>.
8. Motor, T. *Tesla Roadster Travels 313 Miles on a Single Charge*. 2009 [cited 2009 6 of Dezembro]; Available from: http://www.teslamotors.com/media/press_room.php?id=2022.
9. Berger, R. *Powertrain 2020*. 2009 [cited 2009 6 of Dezembro]; Available from: http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_Powertrain_China_20090512.pdf.
10. Milmo, C., *China suspende exportações de metais raros*. 2010.
11. Buchmann, I. *What's the best battery*. [cited 2010 8 of February]; Available from: <http://www.batteryuniversity.com/partone-3.htm>.
12. Agency, U.S.E.P. *Clean Alternative Fuels: Electric Vehicles*. 2009 [cited 2009 6 of Dezembro]; Available from: <http://www.epa.gov/OMS/consumer/fuels/altfuels/420f00034.htm>.
13. ESTV, A.d.C.e.E.E.d. *Flywheel - "A Bateria Electromecânica"*. [cited 2010 7 of February]; Available from: http://www.ipv.pt/millennium/arg8_fly.htm.
14. Wikipedia. *Rechargeable battery*. [cited 2010 5 of February]; Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery.
15. Renault. *ENERGY MANAGEMENT*. 2009 [cited 2009 6 of Dezembro]; Available from: <http://www.renault.com/en/innovation/vehicule-electrique/pages/modes-de-charge.aspx>.
16. Williams, A. *Nissan Plans Wireless Charging on Electric Cars*. 2009 25-01-2010]; Available from: <http://gas2.org/2009/07/21/nissan-plans-wireless-charging-on-electric-cars/>.
17. Sunderland, F. *Electric cars to get wireless recharging*. December 18, 2009 [cited 2010 25 of January]; Available from: <http://www.thegreencarwebsite.co.uk/blog/index.php/2009/12/18/electric-cars-to-get-wireless-recharging/>.
18. Griesel, A.E.N.E. *New wireless road-charging system gives electric vehicles endless range* 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.examiner.com/x-9508-Aspen-Environmental-News-Examiner-y2009m10d8-New-wireless-roadcharging-system-gives-electric-vehicles-endless-range>.
19. IAV. *Electrical power from the road*. 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: http://www.iav.com/us/index.php?we_objectID=15760.
20. Nissan. *Specs*. [cited 2010 9 of February]; Available from: <http://www2.nissan-zeroemission.com/EN/LEAF/specs.html>.
21. EDP. *Tarifas de Média Tensão*. 2010 [cited 2010 27 of June]; Available from: <http://www.edpsu.pt/pt/tarifasehorarios/Pages/TarifaMT.aspx>.

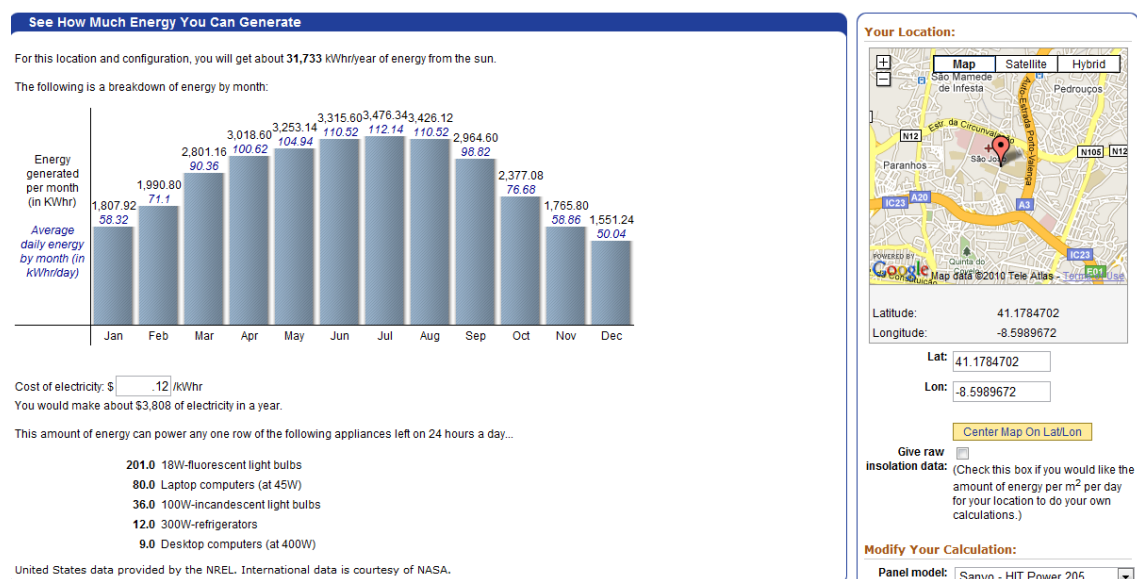
22. Technologies, C. *CT1000 AND CT2000 ChargePoint Networked Charging Stations*. 2009 [cited 2009 9 of Dezember]; Available from: <http://www.coulombtech.com/products.php>.
23. ScienceDaily. *Car Prototype Generates Electricity, And Cash*. 2007 [cited 2010 26 of January]; Available from: <http://www.sciencedaily.com/releases/2007/12/071203133532.htm>.
24. Delaware, U.o. *What is V2G?* 2009 [cited 2010 25 of January]; Available from: <http://www.udel.edu/V2G/>.
25. International, W. *V2G*. [cited 2010 26 of June]; Available from: http://www.wwindea.org/technology/ch04/en/4_3_4.html.
26. Hanlon, M. *Intel partners with Venturi Fetish to make energy sharing possible*. 2005 [cited 2010 7 of February]; Available from: <http://www.gizmag.com/go/4832/>.
27. Proctor, R.L. *Accurate and User Friendly State-of-Charge Instrumentation for Electric Vehicles*. [cited 2010 28 of January]; Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=564965>.
28. Staff, M.D.N. *62 Million Cars To Have Web Access By 2016*. Dec 21, 2009 [cited 2010 5 of February]; Available from: http://mobiledevdesign.com/hardware_news/62-million-cars-web-access-2016-122109/.
29. Optimus. *COBERTURA OPTIMUS KANGURU*. Available from: <http://www.optimus.pt/Particulares/Kanguru/ABCKanguru/OndeUsar/>.
30. ngconnect. *LTE - connected car* Available from: <http://www.ngconnect.org/ecosystem/connected-car.htm>.
31. Mitchell, B. *Wireless Standards - 802.11b 802.11a 802.11g and 802.11n*. [cited 2010 5 of February]; Available from: <http://compnetworking.about.com/cs/wireless80211/a/aa80211standard.htm>.
32. Cisco. *Cisco Aironet 1240G Series Access Point*. 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: http://cisco.biz/en/US/prod/collateral/wireless/ps5678/ps6521/product_data_sheet_0900aecd80635208.html.
33. Wikipedia. *IEEE 802.11p*. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11p.
34. Muhammad Salman Yousuf 1, S.Z.R. *Power Line Communications: An Overview - Part II*. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4530268&isnumber=4529902>.
35. Alliance, H.-P. [cited 2010 6 of February]; Available from: http://www.homeplug.org/tech/app_smart_energy.
36. Mobile, A. *The only WiFi designed for your car*. 2009 [cited 2010 26 of January]; Available from: <http://www.autonetmobile.com/service/>.
37. Jeppe BrGnsted, K.M.H., Lars Michael Kristensen, *An Infrastructure for a Traffic Warning System*. 2005.
38. rashmi. *MANET*. 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.saching.com/Article/MANET---Mobile-Adhoc-NETwork--/334>.
39. Arun Prakash, R.T. *Vehicular Ad Hoc Networks toward Intelligent Transport Systems*. [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04766817>.
40. Keener, K.B.a.C. *How RFID Works*. 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/rfid3.htm>.
41. Development, A. *Auction Strategy Consulting*. 2004 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.auctusdev.com/auctiontypes.html>.
42. Greis, M. *The Network Simulator - ns-2*. [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/>.
43. nsam. *NS3*. 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.nsnam.org/>.
44. affiliates, O.C.a.o.i. *The Source for Java Developers*. 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://java.sun.com/>.
45. Foundation, T.E. *Eclipse*. 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.eclipse.org/>.
46. *Distribuições Discretas*. [cited 2010 26 of June]; Available from: http://www.uac.pt/~pgarrao/IntEstatistica_08_09/AcetatosCap4.pdf.

47. wunderground. *Cola Calculator*. 2010 [cited 2010 27 of June]; Available from: <http://www.wunderground.com/calculators/solar.html>.
48. Térmico, M.S. *FAQ*. 2010 [cited 2010 26 of June]; Available from: <http://www.paineissolares.gov.pt/faq-mst2009.html>.

Anexos

[illegible]

Anexo 1 - Entradas Validadas no P3 com cartão



Anexo 2 - Distribuição da produção de energia solar